خلاصه

کلمات کلیدی: گرمایش القائی – کوره القائی – کوره بدون هسته – کوره کانالی – متعادل کردن بار – تصحیح ضریب قدرت

امروزه کوره های القائی یکی ازاساسی ترین نیازهای صنعت می باشد و درواقع می توان گفت بسیاری ازصنایع به نوعی به این نوع کوره ها وابستگی دارند. این کوره ها انواع مختلفی دارند که دراین پایان نامه سعی شده است یکی ازپرکاربرد ترین آنها ، کوره های القائی ذوب با فرکانس شبکه مورد بررسی قرارگیرد.

دراین پایان نامه سعی برتدوین دانش فنی درزمینه کوره های القائی ذوب با فرکانس شبکه بوده است تا در آینده مورد استفاده صنعتگران ودانش پژوهان قرارگیرد . مسائلی ازقبیل انواع کوره های ذوب ، حفاظت کوره ها ، مساله تصحیح ضریب قدرت ومتعادل کردن بار دراین پایان نامه موردیوجه قرارگرفته است .

ابتدا سعی شده است . اصول کلی گرمایش القائی با استفاده از قانون الکترومغناطیس فاردای ودرواقع طرز کار کلی کوره القائی بیان گردد. درادامه ، انواع کوره های القائی ذوب با فرکانس شبکه مورد بررسی قرارمی گیرند ونحوه عملکرد هریک بیان می شود . سپس تجهیزات جانبی این نوع کوره ها مورد توجه قرارمی گیرد. پس از آن بررسی مدارهای مورد استفاده به منظور جبران سازی ضریب قدرت ومتعادل سازی پرداخته می شود. درانتها نحوه انتخاب پارامترهای این نوع کوره ها بیان می گردد. به منظور حصول نتایج

فوق ، استفاده از مراجع ومنابع معتبر خارجی ، سایت های اینترنت وهمچنین استاندارد های جهانی (IEC) مد نظربوده است .

پس ازبررسی کامل این نوع کوره ها می توان به منظور ذوب ماده مورد نظر، پارامترها ومشخصات کوره مناسب را انتخاب کرد وبااستفاده ازآن وبا کمک دانش فنی کارشناسان مکانیک می توان به ساخت این نوع کوره ها اقدام کرد وگام مهمی درزمینه خودکفائی صنعتی برداشت .

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تاریخچه مختصری ازگرمایش القائی

۱-۲- طبقه بندی کوره های القائی ازنظرفرکانس

۱-۳- کاربرد گرمایش القائی درصنعت

فصل دوم

اصول گرمایش القائی ومزایای آن نسبت به سایرروشها

۲-۱- مقدمه

۲-۲- اساس گرمایش القائی

۲-۳- اساس کارکوه القائی

۲-۴- توزیع جریان گردابی دریک میله توپر

۲-۵- مزایای گرمایش القائی نسبت به سایرروش ها گرمادهی

فصل سوم

انواع کوره های القائی ذوب (فرکانس شبکه)

۳-۱- مقدمه

۳-۲- کوره های القائی بدون هسته

۳-۳ – کوره القائی کانالی

۳-۳-۱- کوره القائی کانالی خودریز

فصل چهارم

تجهیزات جانبی ونقش آنها درعملکرد کوره های القائی

۴-۱- مقدمه

۴-۲- سیستم های حفاظتی

۴-۲-۱- وسیله ایمنی اتصال زمین

۴-۲-۲- رله فشاری

۴-۲-۳ – رله های ولتاژ زیاد وجریان زیاد

۴-۲-۴ – رله های حرارت زیاد

۴-۲-۵ – تخلیه بار خازن ها

۴-۳- سیستم خنک کنندگی

۴-۴- مواد دیرگذار

۴-۴-۱آسترکشی کوره

۴-۵ –سیستم تخلیه مذاب

۴-۶ – بانک خازن

۴-۶-۱ حفاظت خازن ها

۴-۷ – سیم پیچ کوره های القائی

۴-۷-۱ ضریب کیفیت سیم پیچ کوره

۴-۸ –ترانسفورماتور

۴-۹- سلف کوره های القائی

۴-۱۰ – طرح کلی یک کوره القائی

۴-۱۱- مسئله « پل » درکوره های القائی

۴-۱۲- خطرقراضه های مرطوب

فصل پنجم

اصول جبران سازی بارومتعادل کردن آن

۵-۱- مقدمه

۵-۲- تصحیح ضریب قدرت وجبران سازی

۵-۳-۱ مدارمتعادل کننده ایده آل

فصل ششم

انتخاب مشخصات اصلی کوره های القائی ذوب

۶-۱ مقدمه

۶-۲- انتخاب مشخصات ظاهری کوره

۶-۳- انتخاب مشخصات اصلی کوره های القائی ذوب

۶-۱- مقدمه

۶-۲- انتخاب مشخصات ظاهری کوره

۶-۳- انتخاب فرکانس مناسب

۶-۴- انتخاب توان مورد نیاز

۶-۵- انتخاب ظرفیت کوره

فصل هفتم

نتیجه گیری وپیشنهاد

منابع ومراجع

فصل اول

مقدمه

صنعت متالوژی یا به عبارت دیگر صنعت ریخته گری وعلم یکی ازکهن ترین علو وصنایعی است که بشربه آن پرداخته است ودرآن پیشرفت کرده است . مهمترین مساله ای که دراین زمینه ازدیرباز وجود داشته وذهن بشر به آن معطوف بوده است مساله ذوب کردن مواد مختلف می باشد که برای ساخت ابزارآلات ووسایل مختلف مجبور به انجام آن بوده است .

شاید به جرات بتوان ادعا کرد که استفاده ازنیروی الکتریسته برای ذوب کردن مواد، نقطه عطف صنعت متالوژی بوده است . دراین زمینه کوره های القائی، پرکاربردترین کوره ها در این زمینه بوده اند که با استفاده ازایجاد گرما توسط نیروی مغناطیسی کارمی کنند و مزایای پرشماری نسبت به سایر روشها ذوب دارند که درفصل دوم بدان می پردازیم .

۱-۱- تاریخچه مختصری ازگرمایش القائی (۵)

تاریخ کشف پدیده القای مغناطیسی به سال ۱۸۳۱ م برمی گردد. درنوامبر آن سال مایکل فارادای دو سیم پیچ را برروی یک حلقه آهنی پیچید ونشان داد که هنگامی که یک جریان متناوب را به یکی از دو سیم پیچ وصل کنیم یک ولتاژ دردیگری القا می شود . این کشف ،منجربه تولید ترانسفورماتور وتجهیزات وابسته به آن گردید وتا مدت ها تمامی سعی وتلاش متخصصان برگسترش وتوسعه این نوع تجهیزات متمرکز شده بود.

درسالهای پایان قرن نوزدهم بود که کاربردهای عملی گرمایش القائی شناخته شد واولین کاربرد شناخته شده ، ذوب فلزات بود در آغاز ازکوره هائی با بوته فلزی استفاده می شد ولی این روش به علت معایب زیاد به سرعت منسوخ شد وپس از آن سه تن ازمتخصصین به نامهای فرانتی[۱] ،کولبی[۲] وکلین[۳] روش ذوب را توسعه دادند ودرواقع اولین کوره ذوب واقعی راساختند که جریان، مستقیما درمذاب القا می شد وبا فرکانس برق شهر کار می کرد. درآغاز این نوع کوره ها به صورت یک اجاق حلقوی شکل بودند که مشکلات فراوانی منجمله مشکلات ناشی از نیروهای مکانیکی حاصل از تداخل جریان فوکوی القائی درذوب و جریا ن سیم پیچ اولیه را داشتند. مشکل دیگر این نوع کوره ها اثر « فشار[۴] » بود که باعث می شد ذوب از هم کسیخته شود وبنابراین مسیرالکتریکی که برای القائی لازم است قطع می شد وگرمایش متوقف می گشت . این مشکل درمورد ذوب فلزات غیرآهنی به مراتب حادتر بود.

1- T1 Ferranti
2- CoIby
3- KjIIin
4- Pinch effect

درسال های اولیه قرن بیستم کوره های حلقوی کنارگذاشته شدند وشخص دیگری به نام نورث راپ[1] یک کوره استوانه ای شکل با یک منبع تغذیه فرکانس بالا ساخت . فرکانس بالا توسط روشهای ابتدائی مانند استفاده اززنراتور جرقه[2] تولید می شد که هزینه های زیادی داشت ومقرون به صرفه نبود ولی به هرحال این نوع کوره ها اولین نوع کوره های القائی بدون هسته[3] بودند . درسال ۱۹۲۲ م مشکل زیاد بودن هزینه ، با پیشرفت موتور- ژنراتور ،که قابلیت تولید چند صد کیلو وات را درفرکانس های بالا(تا حدود ۹۶۰ هرتز) داشت تا حد زیادی کم شد . درسال ۱۹۶۰ م مبدل های نیمه ها دی فرکانس ، جایگزین موتور- ژنراتورها شدند .

به دنبال استفاده از گرمایش القائی به منظور ذوب فلزات ، سایرکاربردهای گرمایش القائی شدیدا مورد تقاضا واقع شد . این تقاضاها شامل سخت کاری فولاد وعملیات حرارتی قطعات حساس بود . درسال ۱۹۲۷ م شرکت فولاد میدوال[4] برای اولین بار ازاین تکنیک برای سخت کاری فولاد استفاده کرد . درسال ۱۹۳۰ م نیز شرکت میل لنگ سازی اوهایو[5] به منظور استحکام بیشتر میل لنگ های خود ازگرمایش القائی به منظور عملیات حرارتی برروی میل لنگ استفاده کرد .

1- North rup
2- Spark –gap generator
3- CreIess Furnace
4- MidvaIe CoreIess SteeI Co
5- Ohio Crankshaft Co

جنگ جهاین دوم یک حرکت جدی برای توسعه واستفاده ازگرمایش القائی را باعث شد که مشخصا برای تولید اجزاء توپ، خمپاره ، گلوله وهمچنین تولید اجزا مختلف تانک ها و زره پوش ها مورد استفاده قرارمی گرفت وباعث پیشرفت چشمگیری دراین صنعت شد . بسیاری از پیشرفت های اخیر دراین صنعت ناشی از پیشرفت مبدل های فرکانسی نیمه هادی که درسال ۱۹۶۷ م ساخته شد می باشد. دردهه های اخیر راندمان این نوع مبدل ها افزایش چشمگیری داشته است وبه حدود ۹۵ درصد (برحسب مقدارانرژی که ازفرکانس شبکه به فرکانس مورد نظر تبدیل می کنند) رسیده است .

۱-۲- طبقه بندی کوره های القائی ازنظرفرکانس

کوره های القائی انواع مختلفی دارند که برای کاربردهای مختلفی ساخته شده اند. دراکثر منابع ومراجع این کوره ها براساس فرکانسی که توسط آن تغذیه می شوند طبقه بندی شده اند بین ترتیب که معمولا به سه گروه زیردسته بندی می شوند.

الف – کوره های القائی فرکانس شبکه

این کوره ها که با فرکانس ۵۰ هرتز دراروپا و ۶۰ هرتز درآمریکا کارمی کنند، معمولا برای ذوب مواد یا گرم نگاهداشتن مواد درمقادیر زیاد بکار می روند. این نوع کوره ها چون نیاز به هیچ گونه تغییر فرکانس ندارند . دارای ساختمانی ساده می باشند وتنها

مساله مهم در این نوع کوره ها ، مساله تصحیح ضریب قدرت ویکسان کردن بار برروی سه فاز[1] می باشد .

ب – کوره های القائی با فرکانس متوسط

این نوع کوره ها معمولا با فرکانس ۵۰۰ هرتز تا ۵۰ کیلو هرتز کارمی کنند. البته سازند های مختلف ، حدود مختلفی برای تعیین فرکانس متوسط دارند. دراین نوع کوره ها معمولا ازیک موتور القائی که به یک ژنراتور متصل است برای تولید فرکانس مورد نیاز استفاده می کنند. البته اخیرا ازمبدل های فرکانسی نیمه هادی برای این منظور استفاده می کنند.

ج – کوره های القائی با فرکانس زیاد (فرکانس رادیوئی)

این نوع کوره ها درفرکانس ۵۰ کیلو هرتز تا ۱۰ مگاهرتز وبیشتر کارمی کنند و معمولا برای سخت کاری وعملیات حرارتی استفاده می شود زیرا همان گونه که بعدا خواهیم دید عمق نفوذ با فرکانس کارنسبت معکوس دارد (عمق نفوذ این کوره ها ۰/۱ تا ۲ میلی متراست). دراین نوع کوره ها نیزفرکانس توسط موتور- ژنراتورها ویا مبدل های نیمه هادی (تریستوری) تامین می شود.

1- Load matching

۱-۳- کاربرد گرمای القائی درصنعت

۱- ذوب فلزات مختلف ، مانند فولاد ، چدن ، مس ، آلـومینیم ، بـرنج[1] و ... درصـنایع ریخته گری .

۲- پیش گرم کردن شمش درصنایع آهنگری (فورج) ، جهت گرم کردن وشکل دادن قطعات مختلف به وسیله پرس ، نورد و ...[2]

۳- سخت کاری درصنایع ماشین سازی ، جهت سخت کاری سطحی قطعات ، ماننـد چرخ دنده میل لنگ ، میل پولس و...[3]

۴- کوره های آزمایشگاهی ، جهت آلیاژ سازی واندازه گیری تنش ، خمـش وکـشش دردرجه حرارت معین قطعات و...[4]

۵- جوشکاری موضعی وجوشکاری قطعات خاص [5]

۶- سخت کاری موضعی [6]

دراین پروژه بحث اصلی برروی کوره های القائی ذوب فرکانس شبکه می باشد و. درفـصل دوم به بحث درمورد اساس گرمایش القائی ونحوه ایجاد آن می پردازیم وسپس به مزایـای پرشمار این نوع گرمایش نسبت به سایرروشها می پردازیم . درفصل سوم یـک بررسـی در

1- meIting of metaIs
2- preheating for forging
3- Surface heating
4- Lab induction heater
5- brazing and soIdering
6- Case hardening

مورد انواع کوره های القائی فرکانس شبکه انجام می دهیم وکاربرد انها ومزایا ومعایب آنها را بیان می کنیم . درفصل چهارم به معرفی تجهیزات جانبی وملحقات این نوع کوره ها می پردازیم ونقش هریک را درعملکرد کوره های القائی بررسی می کنیم . فصل پنجم این پایان نامه به بحث درمورد مهمترین مساله کوره های القائی فرکانس شبکه که مساله جبران سازی ومتعادل نمودن بار می باشد می پردازد. فصل ششم این پروژه اختصاص به چگونگی انتخاب مشخصات اصلی کوره های القائی برای یک کاربرد خاص دارد . درفصل پایانی نیزیک نتیجه گیری ازکل بحث به همراه پیشنهادهائی درزمینه کوره های القائی ارائه خواهد شد .

فصل دوم

اصول وگرمای القائی ومزایای آن نسبت به سایر روشها

۲-۱ – مقدمه

حرارت وگرما همواره ناشی از تلفات می باشد و دراین نوع ازگرمایش نیز ازتلفات هیسترزیس وفوکو استفاده می کنیم ، تلفاتی که دراکثر تجهیزات الکتریکی مانند ترانسفورماتور وماشین های الکتریکی مضراست وسعی براین است که مقدار این تلفات به حداقل ممکن برسد .

به طورکلی یک سیستم گرمایش القائی شامل یک منبع تغذیه با جریان ، متناوب ، یک سیم پیچ ویک قطعه که باید تحت حرارت قراربگیرد می باشد . اتفاق اصلی واساسی مابین قطعه کار وسیم پیچ رخ می دهد. دراین مورد نقش منبع تغذیه درمورد فرکانس ومیزان جریان سیم پیچ اهمیت دارد . این دوفاکتور مهم واساسی است که تاثیرات الکتریکی و حرارتی برقطع کارمی گذارند.

۲-۲- اساس گرمایش القائی (۶,۵)

همانطوریکه گفته شد گرمایش القائی برپایه دومکانیسم اتلاف انرژی استواراست. این دومکانیسم یکی ، تلفات جریان فوکو ( ) یا تلفات فوکو ودیگری تلفات هیستر زیس می باشد. درمواد غیرمغناطیسی مانند آلومینیوم ، مس و چدن (دردمای بالاتر ازنقطه کوری) تنها مکانیسم اول ، یعنی تلفات انرژی به علت قانون ژول تاثیرگذار است ولی

درمواد فرومغناطیسی مانند فولاد وچدن (دردمای پائین تر از نقطه کوری) ، تلفات هیستر زیس نیز نقش دارد. یک توضیح ساده ولی مفید برای تلفات هیسترزیس این است که این تلفات دراثر اصطکاک بین مولکول ها ، یا به عبارت دیگر بین دوقطبی های مغناطیسی[1] بوجود می آید .

هنگامی که یک ماده فرومغناطیسی ابتدا دریک جهت وسپس درجهت دیگرمغناطیسی می شود ، این دوقطبی را می توان همانند یک آهن ربا فرض کرد که با هربار تغییر جهت میدان مغناطیسی که درنتیجه تغییرجهت جریان متناوب ایجاد می شود ، می چرخند . مقدار افزایش این تلفات با نرخ افزایش تغییر جهت میدان ویا درواقع همان فرکانس جریان الکتریکی متناسب است .

تلفات جریان گردابی[2] وتولید تلفات ژول که بدان مربوط می باشد توسط همان روابط معمول مدارهای جریان متناوب ویا مدارهای جریان مستقیم توصیف می شود. همانند دیگر جریان الکتریکی، جریان گردابی نیز به یک مسیر کاملا بسته نیاز دارد. هنگامی که این جریان جاری می شود یک افت ولتاژ که توسط قانون اهم ($V=RI$) تعیین می گردد، ایجاد می شود که R مقاومت مسیر جریان است. هنگامی که یک افت ولتاژ اتفاق می افتد انرژی الکتریکی به انرژی حرارتی یا گرما تبدیل می شود. این تبدیل را می توان با تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی درسیستم های مکانیکی ، هنگامی که مثلا یک

1- Magnetic dipoI
2- Eeating patterns

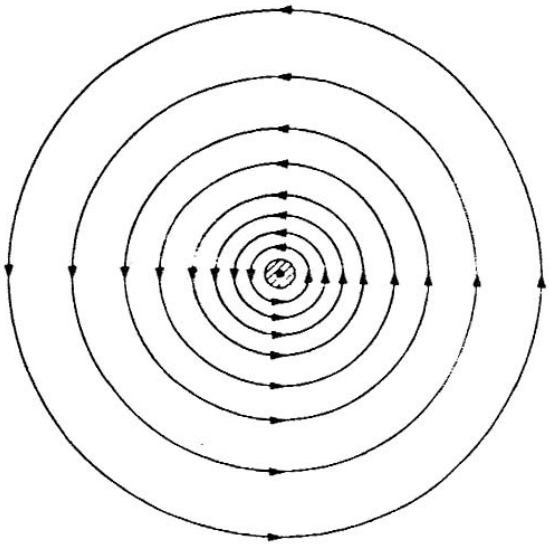
جسم ازارتفاع معین به علت نیروی جنبه به زمین سقوط می کند مقایسه کرد. درسیستم های الکتریکی ، حرارتی که توسط افت ولتاژ بوجود می آید . توسط رابطه $VI=RI^2$تعیین می شود .دقت کنید که رابطه بیان کننده میزان توان تلف شده است و واحد آن انرژی برواحد زمان است .

سوالی که دراین لحظه به ذهن می رسد این است که جریان گردابی به چه صورتی درقطعه کارالقاء می شود فهم این موضوع برای طراحی سیم پیچ ها ی القاء کننده وکنترل مقدار حرارت والگوهای حرارتی[1] ضروری است .

اصل پدیده این مربوط به این است که هرمیدان مغناطیسی توسط یک جریان الکتریکی ایجاد می شود این جریان ac باشد ویا dc .

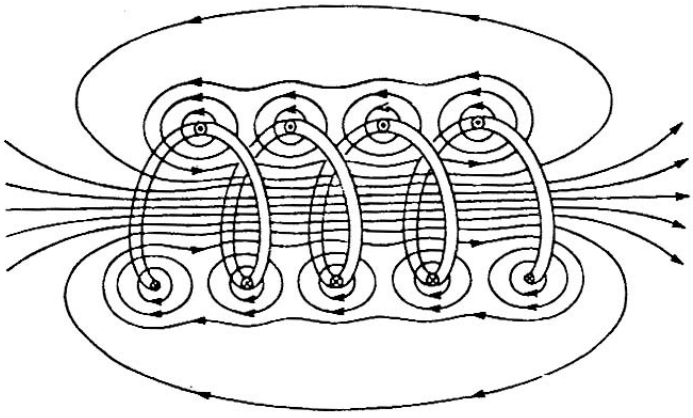
درمورد یک هادی حامل جریان dc، جهت میدان مغناطیسی (یا به عبارت بهتر میدان القای مغناطیسی) عمود برجهت جریان است وشدت آن هرچه که ازهادی دورتر می شویم کمتر می شود. همچنین شدت میدان مغناطیسی متناسب با جریان است . جهت میدان یا مسیر خطوط القای مغناطیسی توسط قانون « دست راست » تعیین می شود . شکل (۲-۱) این موضوع را نشان می دهد. بدین صورت که انگشت شست جهت جریان را نشان می دهد وجهت بسته شدن انگشتان ، جهت مغناطیسی را نشان می دهد.

1- Heating patterns



شکل (۲-۱): میدان مغناطیسی هر یک هادی الکتریکی که حامل جریان الکتریسیته است جهت جریان به طرف بیرون کاغذ است

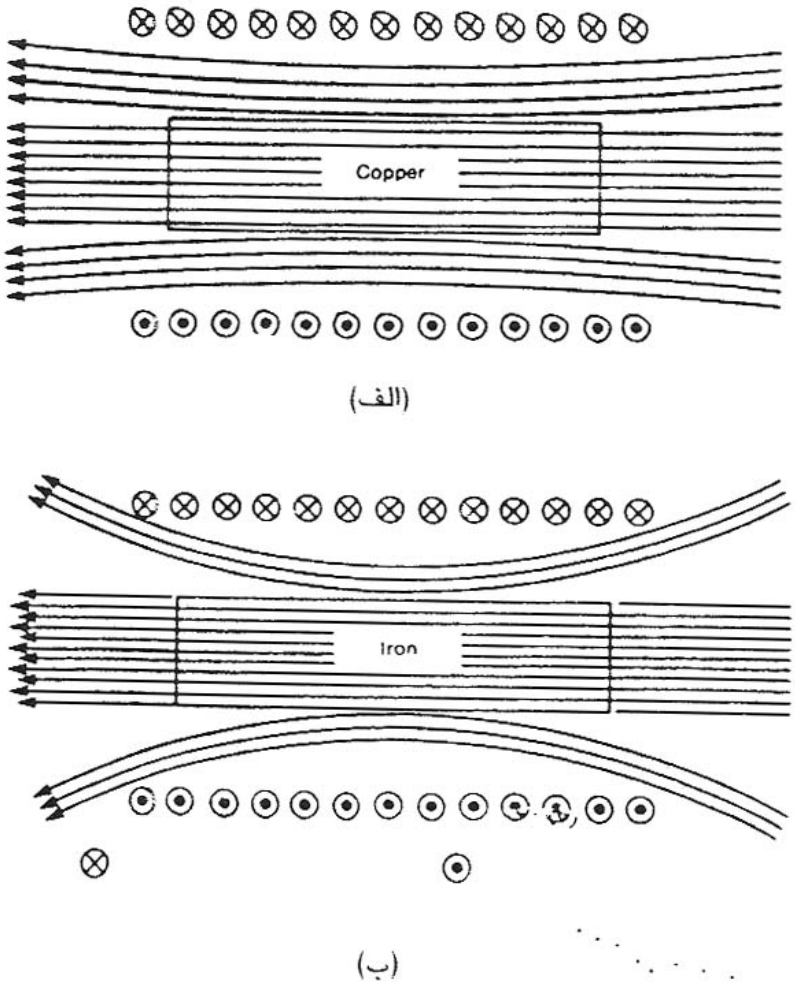
اگریک جریان dc را به یک سیم پیچ سلئوئیدی وصل کنیم شدت میدان درداخل سیم پیچ زیادرت وبیرون ازسیم پیچ کمترمی شود . (شکل ۲-۲)



شکل (۲-۲): نمایی از میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم پیچ حامل جریان الکتریسیته

شدت میدان مغناطیسی دربین حلقه های کنارهم خیلی کم است . وعلت آن این است که القای مغناطیسی درحلقه های کنارهم ، دارای علامت مختلف است بنابراین همدیگر را خنثی می کنند. حال تصور کنید که هنگامی که یک میله توپررا وارد یک سیم پیچ که حامل جریان dc است وارد کنیم چه اتفاقی برای میدان مغناطیسی می افتد ؟ شکل (۲-۳).

اگرمیله ، فرومغناطیسی نباشد میدان هیچ تغییری نمی کند. ازطرف دیگر اگریک میله آهنی را درون سیم پیچ قراردهیم تعداد خطوط القای مغناطیسی به طورچشمگیری افزایش می یابد . به همین علت گفته می شود گذر دهی آهن بزرگتر ازگذردهی مواد غیر مغناطیسی است . درعمل برای محاسبات الکتریکی لازم است که گذردهی نسبی برای ما مشخص باشد. گذردهی مواد غیرمغناطیسی مساوی با گذردهی هوا می باشد. وگذردهی نسبی آنها برابر یک می باشد . درمقابل ، مواد مغناطیسی دارای گذر دهی بزرگتر ازیک می باشند.



شکل (۲-۳): تاثیر ورود یک میله بر روی میدان مغناطیسی القائی (فلوی مغناطیسی) در داخل یک سیم پیچ که حامل جریان الکتریکی است (الف) میله غیر مغناطیسی (مس) (ب) میله مغناطیسی (آهن)

هنگامی که یک میله توپرهادی را درون یک سیم پیچ ، که حامل جریان dc است قرارمی دهیم هیچ جریان گردابی درآن القاء نمی شود. اگربه جای جریان dc ازجریان ac استفاده کنیم هم جریان گردابی القاء می شود وهم گرما ایجاد می شود.

برای کمک به فهم بهتر این موضوع فرض کنید که یک سیم پیچ به دور یک استوانه توخالی با ضخامت کم[1] (ازجنس همان ماده هادی که درقسمت قبل بحث شد) پیچیده شده است .

هنگامی که سیم پیچ به جریان متناوب متصل است یک میدان مغناطیسی دورتا دور سیم پیچ را احاطه می کند ولی جهت ومقدار این میدان با هربار تغییر جهت ومقدار جریان متناوب تغییرمی کند. این باعث می شود که تعداد خطوط میدان یال به عبارت دیگرشارمغناطیسی که این استوانه راقطع می کند تغییر کند که فارادی دراواسط سال ۱۸۰۰ م درآزمایشات خود فهمید که این تغییر شارباعث القای یک ولتاژ می شود. دراین مورد اخیر، ولتاژ یا نیروی الکترومغناطیسی که دراستوانه القاء می شود توسط رابطه زیربدست می آید:

رابطه (۲-۱) $E_{sleeve} = -N(\Delta\phi / \Delta t)$

دراین رابطه N تعداد دور سیم پیچ و میزان تغییر شاربرحسب Wbs است . رابطه فوق به قانون فارادی معروف است .

این مشخص است که شدت میدان مغناطیسی که با تغییرات جریان الکتریکی مشخص می شود بستگی به مقدار جریان دارد . بنابراین دریک سیم هادی یا یک سیم پیچ ، حداقل وحداکثر شدت میدان مغناطیسی درهمان لحظه ای که جریان حداقل وحداکثر

1- Skeeve

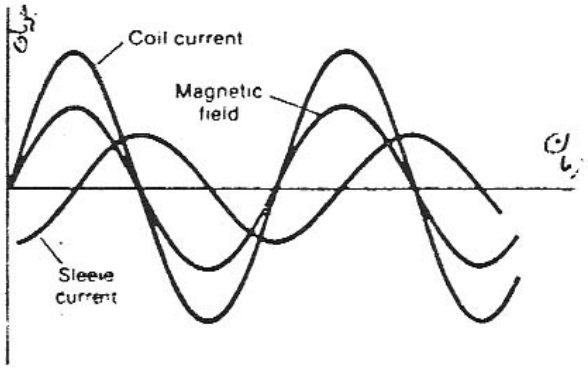
است اتفاق می افتد مقدار برابر با صفراست . با توجه به شکل (۲-۴) مشخص است که هنگامی بیشترین مقدارخود را دارد که منحنی جریان ازصفربگذرد بدین دلیل که وقتی جریان ازصفرمی گذرد ولتاژ القاء شده دراستوانه ، بیشترین مقدارخود را دارد . به علت وجود علامت منفی درقانون فارادی ، علامت جریان القائی مخالف جریان سیم پیچی است و جهت آن توسط قانون " دست راست " تعیین می شود . درمورد استوانه نازک ، تعیین جریان گردابی ومیزان حرارت نسبتا آسان است . شاژ مغناطیسی توسط رابطه زیرمحاسبه می شود[۱] .

رابطه (۲-۲) $\phi = (\mu . I_C n)/(\pi r^2 .)$

دراین رابطه جریان سیم پیچ است و ثابت گذردهی خلاء است ( ) و n تعداد دورسیم پیچ درواحد طول است و r_o شعاع متوسط دورهای سیم پیچ است . همچنین مقاومت استوانه ازرابطه بدست می آید که p مقاومت ویژه فلزاستوانه است و I نیز طول مسیر عبورجریان گردابی است (که برابر است با که ازقطر استوانه است) و A نیز مساحت سطح مقطع استوانه است (که برابر است با حاصلضرب ضخامت استوانه درطول استوانه).

توانی که توسط جریان گردابی تلف می شود برابر است با

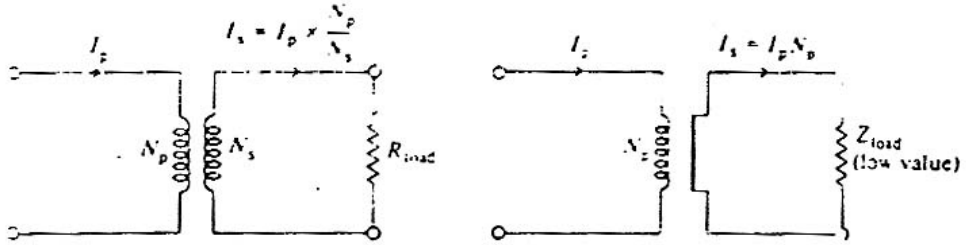
۱ – البته این رابطه برای حالتی است که درون سیم پیچ چیزی نوشت وهنگامی که استوانه نازک را درون سیم پیچ می گذاریم شاژ درون استوانه کمتر است پس شارژی که ازاین رابطه محاسبه می شود کمی بیشتر از شاراصلی است .



شکل (۲-۴): تغییرات جریان و شدت میدان مغناطیسی القائی نسبت به زمان برای یک سیم پیچ سلونوئیدی که توسط یک منبع ac تغذیه می شود. جریان گردابی که در یک استوانه هادی، در یک سیم پیچ القائی قار گرفته القاء می شود نیز نشان داده شده است.

۲-۳ – اساس کارکوه القائی (۱)

بطورکلی اساس کارکوره های القائی را می توان با عملکرد یک ترانسفورماتور مشابه دانست بدین ترتیب که سیم پیچ اولیه همان سیم پیچ اصلی کوره می باشد که معمولا در کوره های ذوب بصورت لوله های مسی توخالی ساخته می شود تا با عبور آب از داخل آنها عمل خنک سازی به خوبی صورت پذیرد. این سیم پیچ را تا حد ممکن سعی می کنند به سطح کار حفت کنند تا فاصله هوائی کاهش یابد. سیم پیچ ثانویه این ترانسفورماتور فرضی ، بار کوره می باشد که همان ماده ذوب شدنی است وبه صورت اتصال کوتاه درنظرگرفته می شود که به یک امپدانس کوچک متصل شده است .



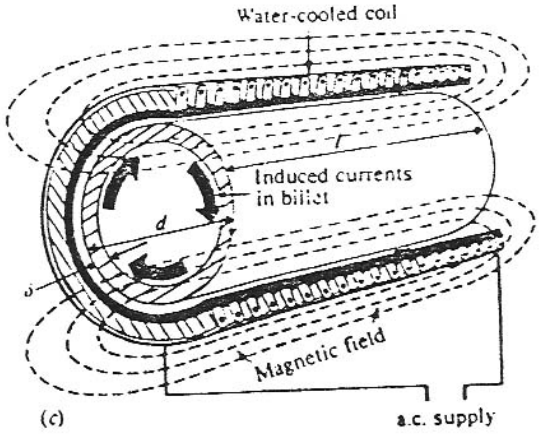
شکل (۲-۵): الف – ب: مدار الکتریکی کوره القائی

درشکل (۲-۵-الف) یک ترانسفورماتور به شکل ساده نشان داده شده است که در آن شار پراکندگی صفر درنظرگرفته شده است . همان طوریکه می دانیم جریان ثانویه با مقدارجریان اولیه وتعداد دوراولیه نسبت مستقیم دارد وبا تعداد دورثانویه نسبت معکوس دارد حال در شکل (۲-۵) که معادل ساده یک کوره القائی را نشان می دهد ثانویه اتصال کوتاه یا به یک امپدانس خیلی کم متصل شده است. اگرمقاومت ماده ذوب شدنی داخل کوره را R درنظربگیریم تلفات برابر با می شود که در آن نیز برابر است با :

رابطه (۲-۳) $I_S = N_P.I_\tau$

این تلفات موجب ذوب ماده مورد نظر می شود.

شکل (۲-۶) همان باراستوانه ای موردبحث را داخل کوره نشان می دهد که با شکل (۲-۵ ب) معادل می شود.



شکل (۲-۶): نمای کلی سیم پیچ و بار یک کوره القائی (مسیرهای آب کاملا مشخص است)

۲-۴- توزیع جریان گردابی دریک میله توپر[1] (۵)

درمورد استوانه توخالی فرض براین است که مقدار جریان گردابی یکنواخت است وفقط بستگی به جریان سیم پیچی وشکل هندسی استوانه دارد. درواقع هنگامی که میله توپر درون یک سیم پیچ قرارمی گیرد اوضاع کمی پیچیده ترمی شود .

فرض کنید میله توپر ازتعدادی استوانه متحدالمرکز تشکیل شده است (شکل ۲-۷) میدان مغناطیسی القائی درسطوح بالائی میله قویتراست . مقدار زیادتری شارازاستوانه های بالاتر می گذرد واین شاراست که جریان گردابی را تولید می کند. یک سوال که اینک به ذهن می رسد این است که آیا شدت میدان مغناطیسی دراستوانه های درونی نسبت به شدت میدان دراستوانه های خارجی بزرگتراست یا کوچکتر. این بستگی دارد به

1- SOlid bar

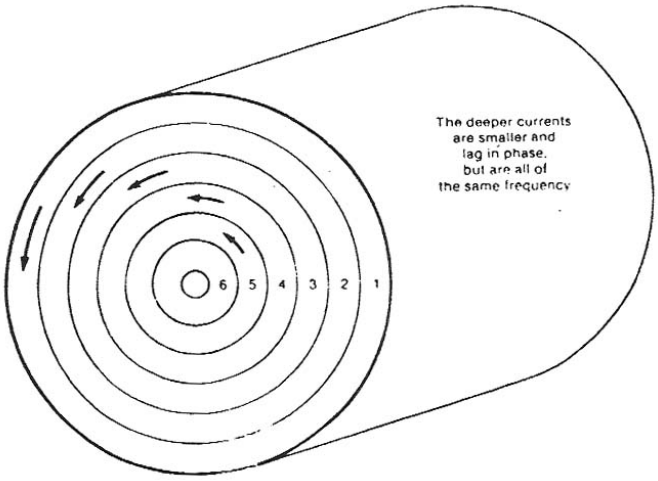
این که آیا جریان القائی دراستوانه بیرونی مخالف میدان است یا نه . اگراین جریان میدان را تقویت کند یک ولتاژ بزرگتر دراستوانه القاء می شود که باعث یک جریان بزرگتر می شود که باز این جریان یک میدان بزرگتررا باعث می شود واین میدان باز یک ولتاژ بزرگتر وهمین طور ادامه پیدا می کند که چنین وضعیتی قطعا اتفاق نخواهد افتاد. به همین علت جریانی که دردومین استوانه از سطح میله القا ء می شود کوچکتر ازجریان القاء شده دراستوانه بیرونی است وبه همین ترتیب جریان القاء شده دراستوانه سوم کوچکتر ازجریان القاء شده دراستوانه دوم است و به همین ترتیب ادامه پیدا می کند. درواقع جریان القائی ازسطح میله تا عمق میله شروع به کم شدن می کند واین صرف نظر ازجنس میله است که خواه مغناطیسی باشد خواه غیرمغناطیسی . این پدیده موسوم به اثر پوستی می باشد.

مقدارجریان بصورت نمائی[1] ازسطح میله تا عمق میله کمی می شود . می توان عمق پوستی را d که به فرکانس سیم پیچی وضریب گذردهی نسبی ومقاومت قطعه کار بستگی دارد بصورت زیرمحاسبه کرد :

رابطه (۲-۴)

$$d = 5000\sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

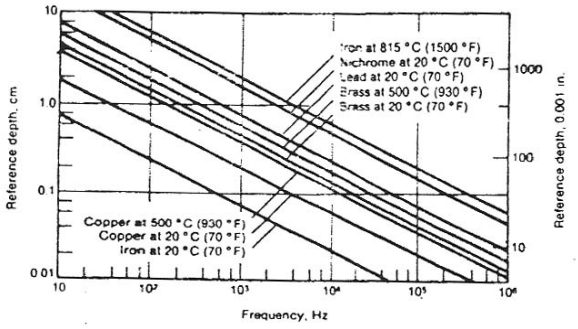
1- ExponentiaIIy



شکل (۲-۷): هر چه به سمت مرکز قطعه نزدیک می شویم دامنه جریان کمتر می شود.

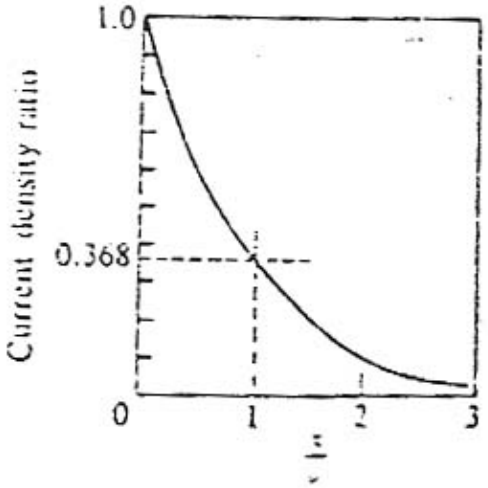
دراین رابطه d عمق پوستی مقاومت مخصوص قطعه کار است . قابلیت گذردهی مغناطیسی نسبی قطعه کار است وf فرکانس (Hz) میدان متغیر سیم پی است .

درواقع عمق پوستی فاصله ای است ازسطح ماده که شدت میدان القائی ومقدارجریان القائی به ۳۷ درصد مقدارآن درسطح ماده می رسد. شکل (۲-۸) عمق پوستی را برحسب فرکانس برای فلزات معمول نشان می دهد. عمق پوستی با تغییر دما تغییر می کند . (دریک فرکانس ثابت) زیرا مقاومت هادی با تغییر دما تغییر می کند.



شکل (۲-۸): نمودار عمق پوستی مواد مختلف بر حسب فرکانس

نمودار زیرچگونگی کاهش چگالی جریان را برحسب عمق پوستی بیان می کند.



شکل (۲-۹): کاهش چگالی جریان بر حسب عمق پوستی

همان گونه که ازشکل فوق نتیجه می شود می توان تغییرات چگالی جریان را نسبت به عمق ، با یک رابطه نمائی بصورت زیربیان کرد:

رابطه (۲-۵) $J_X = J_0 e.^{-xd}$

بطورکلی ۸۷ درصد انرژی القا شده درعمق پوستی توزیع می شود ومدتی طول می کشد تا حرارت به مرکز قطعه نیزبرسد. (این قسمت را با گرمایش ازطریق سوخت های فسیلی مقایسه کنید که در آنجا تمام انرژی به سطح قطعه کارداده می شود وزمان زیادی طول می کشد تا حرارت به مرکز قطعه برسد).

به منظور بدست آوردن یک راندمان الکتریکی خوب ، قطر قطعه کار می بایستی چهاربرابر عمق نفوذ باشد. همان گونه که ذکرشد عمق نفوذ متاثر ازفرکانس جریان تغذیه وجنس ماده موردنظراست . {۹}

آلیاژهای فولاد درحرارت زیرنقطه کوری ، مغناطیسی ودردماهای بالای نقطه کوری غیر مغناطیسی اند. دمای نقطه کوری به طورمعمول درنظرگرفته می شود.

جدول (۲-۱) عمق پوستی را بر حسب فرکانس منبع تغذیه برای چند ماده نشان می دهد: (۹).

جدول (۲-۱): عمق پوستی مواد مختلف بر حسب فرکانس (۹)

فرکانس (هرتز)	فولاد کربن دار		مس	آلومینیوم
	پائین تر از نقطه کوری	بالاتر از نقطه کوری		
	اینچ(mm)	اینچ(mm)	اینچ(mm)	اینچ(mm)
60	0.65(17)	2.56(67)	0.55(14)	0.61(15)
200	0.35(9)	1.5(47)	0.304(8)	0.324(18)
500	0.22(6)	0.92(23)	0.192(5)	0.212(5)
1000	0.16(4)	0.65(17)	0.136(3)	0.149(4)
3000	0.09(2)	0.34(9)	0.078(2)	0.086(2)
100000	0.05(1)	0.20(5)	0.043(1)	0.047(1)

جدول (۲-۲) که توسط شرکت "American Induction Heating Corp" ارائه شده است را نیز می توان برای مشخص کردن فرکانس برای ذوب قطعات با قطرهای مختلف مورد استفاده قرار داد:

جدول (۲-۲): تعیین فرکانس کار بر حسب قطر قطعه ذوب شدنی

فرکانس پیشنهادی	قطر قطعه ذوب شدنی
۱۰KHz	۳۸mmتا۹mm
۶KHz	۵۱ mm تا ۱۴mm
۳KHz	۶۴ mmتا۱۹ mm
۱KHz	۱۰۲ mm تا ۴۴ mm
۵۰۰Hz	۱۱۴mmتا۷۶ mm
۲۰۰ Hz	۱۵۲ mm تا ۹۵ mm
۶۰ Hz	۱۲۷ mm و بیشتر

۲-۵ – مزایای گرمایش القائی نسبت به سایرروش های گرمادهی :

۱- اپراتوری بسیارساده به علت وجود بخش کنترل کامل الکترونیکی .

۲- عدم آلودگی واکسید اسیون باربعلت عدم وجود گاز وشعله اکسیدکننده .

۳- شروع به کار سریع وعدم نیاز به پیش گرم یا ذوب اولیه .

۴- سرعت بالای انجام عملیات درمقایسه با سایرکوره ها (درهمین رابطه شکل (۱۰-۱) بیانگر تفاوت زمان گرمادهی تا ۱۲۳۰° به یک میله توپر، مابین کوره ای با سوخت فسیلی ویک کوره القائی می باشد .)

۵- راندمان بسیاربالاترنسبت به کوره های با سوخت فسیلی .

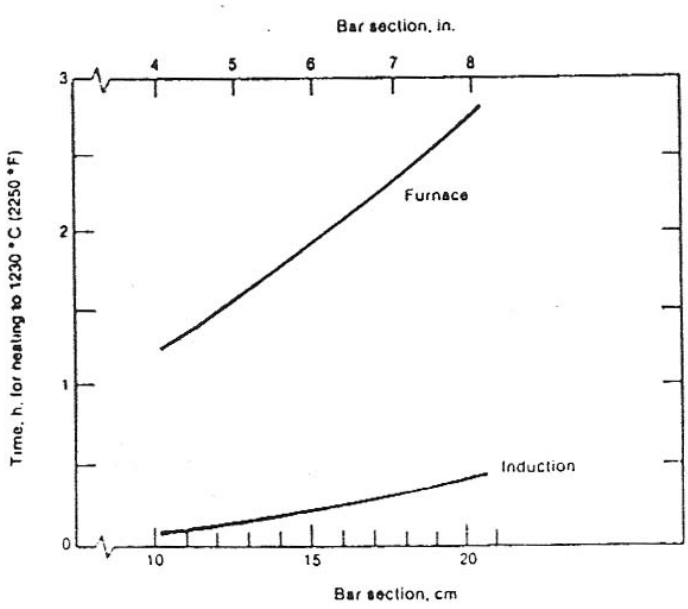
۶- قابلیت تهیه آلیاژهای یکنواخت به علت چرخش داخلی مذاب .

۷- قابلیت تهیه ونگهداری ذوب درظرفیت های مختلف

۸- امکان کنترل دقیق درجه حرارت

۹- عدم تاثیر برآلودگی محیط زیست

۱۰- امکان کنترل دقیق زمان حرارت دهی .



شکل (۲-۱۰): تفاوت زمان گرمادهی در یک کوره القائی و یک کوره با سوخت فسیلی

فصل سوم

انواع کوره های القائی ذوب (فرکانس شبکه)

۳-۱- مقدمه

کوره های القائی فرکانس شبکه که امروزه درصنعت به عنوان واحد ذوب کننـده اسـتفاده می شوند را می توان به دوگروه عمده تقسیم بندی کرد :

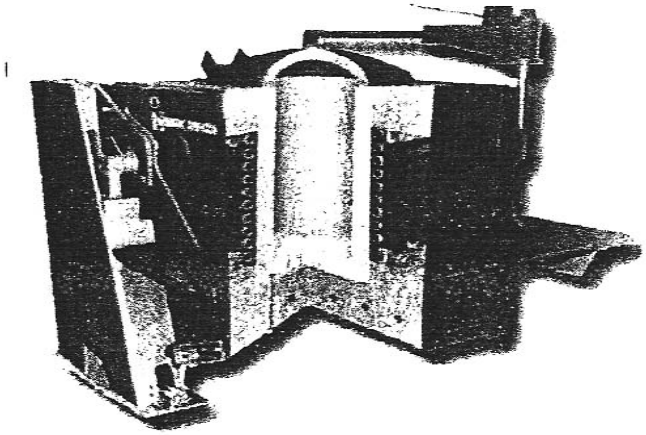
الف – کوره های القائی بدون هسته[1]

ب – کوره های القائی کانالی[2]

۳-۲ کوره های القائی بدون هسته (۵و۴)

چنانچه درشکل (۳-۱) نشان داده شده است این نوع کوره ها شامل یـک بوتـه دیرگـداز می باشد که یک کویل مسی باقابلیت هدایت زیاد بدوران پیچیده شده است . ایـن کویـل با آب خنک می شود. حلقه های این سیم پیچ با فیبرشیشه وپنبه نسوز (آزبست) عـایق شده اند. این لایه های عایق ازاتصال کوتاه شدن جلوگیری می کند. دربعضی ازکوره هـا ، سیم پیچ دو یا چند قسمتی است وهریک از قسمت ها می توانند بطورمجزا یا همگـی بـا هم کارکنند. کوره مخصوصی هم طراحی شده است که با دوفرکانس کارمی کند. فرکانس زیاد برای شروع کار وهنگام که کوره هنوز سـرد اسـت وفرکـانس شـبکه بـرای ذوب بعـد ازاینکه مذاب تشکیل شد.

1- CoreIess induction furnace
2- ChanneI induction Furnace



شکل (۳-۲) یک برش مقطعی ازیک کوره القائی با تمام متعلقات آن را نشان می دهد. مواد ذوب شدنی یک آستر فشرده نسوز[1] قرارمی گیرد. یک سیم پیچ با لوله های مسی توخالی که آب از داخل آن عبور می کند دورتا دوراین آستر پیچیده شده که هنگامی که به منبع تغذیه متصل می شود تولید یک میدان مغناطیسی عمودی می کند. روی سطح بیرونی سیم پیچ ، ورقه های لایه لایه[2] مغناطیسی قرراگرفته که مسیر برگشت شارمغناطیسی را مهیا می کند وباعث بهترشدن ضریب قدرت[3] می شود. این ورقه ها همچنین باعث می شود که مسیرشاربا فلزات دیگر دورتا دور کوره بسته نشود وباعث گرم شدن آنها واحیانا ایجاد خطرنشود. هنگام تخلیه کوره می بایستی کل کوره ازسطح زمین جدا شود وبچرخد. بنابراین ساختمان کل کوره ازنظرمکانیکی می بایست محکم ساخته شود.

1- Refractory Iining
2- Laminated
3- Power factor

بطورکلی کوره های بدون هسته برای کار درفرکانس های مختلف زیرساخته می شوند:

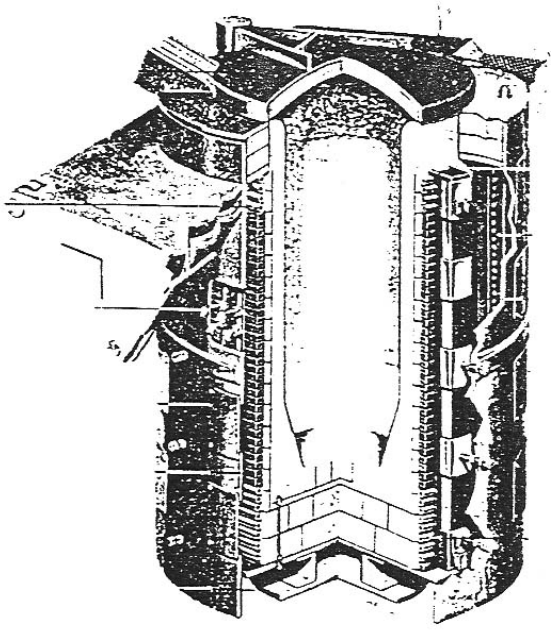
الف – فرکانس شبکه ۶۰-۵۰ هرتز

ب – فرکانس سه برابر ۱۸۰- ۱۵۰ هرتز

ج – فرکانس ۵۰۰۰- ۵۰۰ هرتز

د- فرکانس های بالاتر برای واحدهای کوچک وکاربردهای خاص

اصلی ترین کاربرد کودهای القائی درکارخانه های ذوب مواد می باشد. این نوع کوره ها ما را قادر به ذوب انواع مواد دردماهای دلخواه وبا هرنوع ترکیب می سازد. همچنین توسط این نوع کوره ها می توان آلیاژ هائ با کمترین درصد آلودگی تهیه کرد.



شکل(۳-۲)-برش کوره القایی بدون هسته

هنگامی که مواد به صورت مذاب می باشند دراثرتلاقی جریان با شارمغناطیسی نیروئی بوجود می آید که باعث بهم خوردن[1] مذاب می شود. درکوره های بدون هسته کل مذاب به هم می خورد واین مساله باعث می شود درآخر یک ترکیب کاملا یکسان داشته باشیم وترکیب آن به راحتی می توان اندازه گیری کرد درصورت لزوم به راحتی تغییر داد.

کوره های القائی بدون هسته قابلیت ذوب انواع آلیاژ های مختلف را دارند. درپایان هرذوب می توان کوره را کاملا تخلیه کرد وشروع به ذوب یک آلیاژ دیگرنمود. (البته باید به این نکته توجه نمود که برای این کار می بایستی آلیاژ مورد نظربا آستر نسوز کوره ازنظرترکیب شیمیائی هماهنگی داشته باشد).

درکوره های القائی بدون هسته با فرکانس شبکه ، ذوب کردن قطعات کوچک درابتدای کارمشکل است. دراین نوع کوره ها به خاطر کم بودن نسبت حجم قطعه به عمق پوستی، راه اندازی کوره مشکل وگاهی غیرممکن خواهد بود. برای رفع این مشکل حداقل ۱۵ تا ۲۰ درصد کل ظرفیت کوره باید قبلا ذوب گردیده باشد.

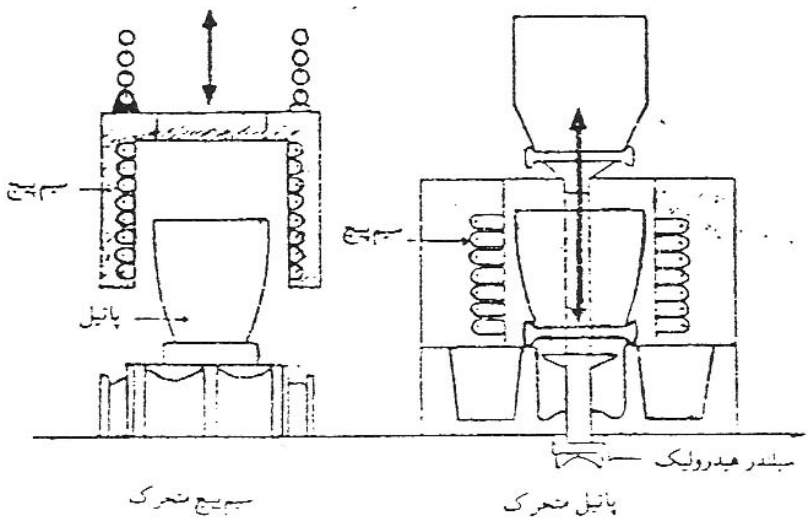
بنابراین درابتدای هرذوب برای راه اندازی کوره می باید یک قطعه بزرگ بلوک مانند که از ذوب قبلی نگاه داشته می شود را درون کوره قرار داد وپس از اینکه این بلوک ذوب شد و منابع حاصل شد می توان به آرامی مواد ذوب شدنی را اضافه کرد .دراین نوع کوره های ذوب فرکانس شبکه ، مواد ذوب شدنی معمولا قراضه های صنعتی می باشد. کوره های

1- Stirring

فرکانس متوسط برای راه اندازی احتیاجی به بلوک ندارند. همچنین دراین نوع کوره ها تلاطم مذاب کمتراست که این مسئله باعث می شود این نوع کوره ها برای تولید فولادهای بادرصد خلوص بالا بکارروند زیرا هنگامی که تفاله های وناخالصی مواد مذاب شدنی روی مذاب می آیند. دراثر به هم خوردن شدید مذاب ، به داخل مذاب نمی روند ومی توان انها را جمع کرد واین باعث می شود ترکیب خالص تری بدست آید. فرکانس بالا معمولا برای کوره های القائی کوچک انتخاب می شود که برای ذوب مقادیر بسیارکم آزمایشگاهی ازمواد گرانبها مانند طلا، نقره و پلاتین استفاده می شود. این نوع کوره ها معمولا بصورتی ساخته می شوند که سیم پیچ و بوته (پاتیل) ازهم جدا می باشند وهنگام بارگیری مواد (ریختن مواد به داخل قالب) سرعت کار بالا می رود زیرادیگر همانند کوره های قبلی احتیاجی به یک ظرف واسطه برای انتقال مذاب نمی باشد ومعمولا به دوصورت پاتیل متحرک وسیم پیچ متحرک ساخته می شوند (شکل (۳-۳) .

عیب این نوع کوره ها تلفات زیاد ، به علت فاصله هوائی که بوجود می آید می باشد.

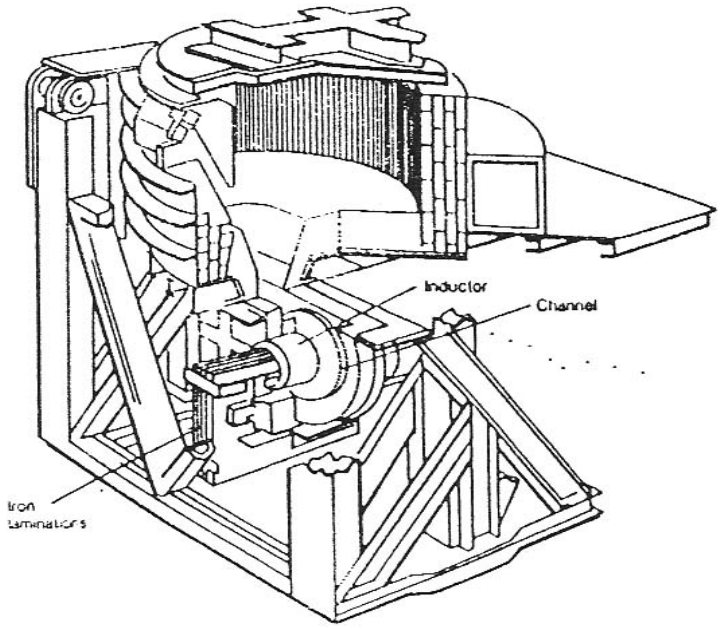
ضریب قدرت کوره های بدون هسته درحدود ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ متغیر است . ساختار الکتریکی سیم پیچ این نوع کوره ها باید به گونه ای باشد که قابلیت تحمل حداکثر ولتاژ موثراعمال شده به طوردائم وهمچنین پنج تا هفت برابر این ولتاژ را درشرایط گذرا هنگام قطع ووصل خازن ها داشته باشد.



شکل (۳-۳)-کوره القایی پاتیک متحرکو سیم پیچ متحرک

۳-۳- کوره القائی کانالی (۵,۴)

درکوره های کانالی سیم پیچ اولیه یا سیم پیچ کوره به دوریک هسته آهن لایه لایه که کانال را احاطه کرده وبه بدنه کوره وصل است پیچیده می شود. همچنانکه درشکل (۳-۴) نشان داده شده است. کانال امکان دارد به شکل V،U ویا W باشد که این مسئله به طرح کارخانه سازنده وهم چنین نوع آلیاژی که ذوب می شود بستگی دارد. بعضی از آلیاژها درکانال گیر می کنند وبنابراین شکل کانال بایستی طوری طراحی شود که به راحتی بتوان هرنوع گرفتگی را ازمیان برد.



دراین گونه کوره ها جریان برق شهراز طریق ترانسفورماتوربه سیم پیچ متصل مـی شـود. فرکانس آن دراروپا ۵۰ ودرآمریکا ۶۰ هرتز می باشد. درکانل گرمـا مـستقیما بـرروی فلـز اثرمی گذارد امانیروهای مغناطیسی باعث می شوند که فلزمذاب ازبوتـه بـه داخـل کانـال وبالعکس جریان پیدا کند . فلز درکانال به مقدار زیادی گرم می شود. درجـه حـرارت فلـز درکانال حدود ۱۰۰درجه سانتی گراد بیش از درجه حرارت فلز مذاب درجاهای دیگربوتـه است .

کوره کانالی نمی تواندبا قراضه سرد شروع به کارکند وچنانچه بخواهند کاررا سـرد شـروع کنند ابتدا کوره را بااستفاده از شعله گاز یا نفت ، گرم کـرده وبعـد فلـز را بـصورت سـیال درآورند که بتواند کانال را پرکند. مواد جامد را بعدا به آرامی درکوره اضافه می کنند. فلـز مذاب بایستی درطول فرایند کار کوره درداخل واطراف کانال جریان داشـته باشـد. بـدین

ترتیب ، دراصل ازکوره کانالی به منظور واحد دما[1] ونگاهدارنده مذاب برای کوره های ذوب دیگراستفاده می شود گرچه کوره کانالی دربعضی ازموارد به عنوان واحد ذوب کننده نیز به کار می رود.

مخارج جاری کوره های کانالی به علت نیاز به ماندن مذاب درکانال زیاد است .

استفاده از چنین کوره هایی به عنوان واحد ذوب ، محدود به آهن ومواد غیرآهنی می شود که مساله جذب گاز مثل فولاد مشکل زیادی ایجاد نمی کند واکثرا برای ذوب ونگهداری مذاب های نیکل ، مس ،روی ، نقره و آلومینیوم استفاده می شود و علاوه بر این ، درجه حرارت در کانال القاء کننده درطول ذوب فولاد بسیارزیاد خواهد بود (بیش از ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد که برای ذوب فولاد مناسب نیست .

به علت وجود هسته مغناطیسی ، ضریب قدرت این کوره ها کمی بهتر از کوره های بدون هسته است وتقریبا درحدود ۰/۵ تا ۰/۷ می باشد. راندمان الکتریکی این کوره ها بالا بوده ودر حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد می باشد که با احتساب تلفات حرارتی و آب خنک کن به حدود ۸۵ تا ۹۰ درصد خواهد رسید.

کوره های القائی کانالی دارای معایبی به شرح زیراست :

الف) لزوم شارژ توسط یک کوهره ذوب دیگر

1- Supreheating

ب) درجه حرارت درکانال کوره محدوده بوده ودرنتیجه ماکزیم توان ورودی را تا حد زیادی محدود می سازد.

ج) عمل مخلوط شدن مذاب درکوره کانالی نسبت به کوره بدون هسته ضعیفتر می باشد.

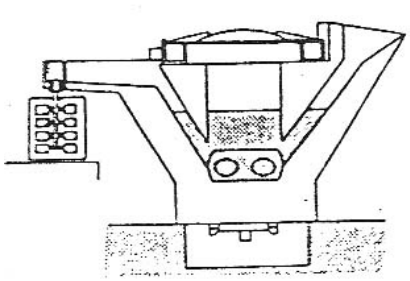
د) کنترل توان ورودی به معنی کنترل دمای کوره نخواهد بود. چرا که عمل انتقال حرارت به کندی صورت می گیرد وحرارت اصلی فقط درکانال ایجاد می شود .

۳-۳-۱ کوره القائی کانالی خود ریز (۶)

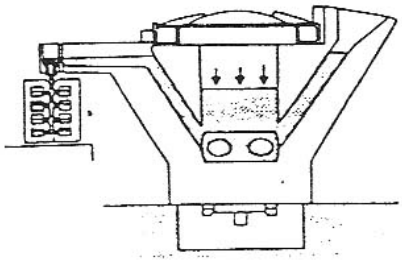
این نوع کوره ها برای تخلیه مذاب احتیاج به چرخش ندارند ومذاب توسط یک سیستم سیفون مانند تخلیه می شود ومعمولا درخطوط تولید اتوماتیک ونیمه اتوماتیک بکارمی روند ودرجاهایی که مقدار مذاب تخلیه شده درون قالب باید مقدار دقیقی بشاد نیز ازاین نوع کوره استفاده می شود.

همان طوریکه درشکل (۳-۵) الف وب ملاحظه می کنید این نوع کوره ها دارای دو لوله ناودانی شکل می باشند که یکی برای ورود قراضه به کوره ودیگری مجرای تخلیه مذاب می باشد. درب کوره کاملا محکم است وهیچ منفذی ندارد. ازقسمت استوانه ای وسط کوره توسط هوا ویا گازی خنثی به سطح مذاب فشار وارد می کنند(توسط کمپرسور) بنابراین سطح مذاب دردو مجرا بالا می آید ولی چون مجرائی که از آن قراضه وارد کوره

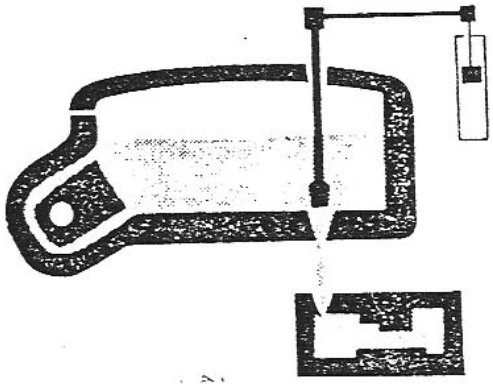
می شود در ارتفاع بلندتری قراردارد ، ذوب وارد مجرای دیگر می شود وازطریق یک نـازل به درون قالب ریخته می شود. ازطریق همـین نـازل نیـز مـی تـوان عمـل ذوب ریـزی را کنترل کرد (شکل ۳-۵- ج)



(ب)



(الف)



(ج)

فصل چهارم

تجهیزات جانبی ونقش آنها درعملکرد کوره های القائی

۴-۱- مقدمه

با توجه به توسعه وافزایش کوره های القائی ذوب اهمیت تجهیزات جانبی وحفاظتی این کوره ها نیزبیش از پیش نمایان گردیده است . به علت وجود دامنه بزرگ جریان وهمچنین دمای بالای ذوب ، سیستم های حفاظتی اهمیت زیادی پیدا می کنند. دراین بخش به معرفی سیستمهای حفاظتی وهمچنین سیستم های جانبی کوره های القائی می پردازیم .

۴-۲- سیستم های حفاظتی

کوره های القائی که امروزه ساخته می شود دارای سیستم های حفاظتی پیشرفته ای می باشند وکلیه این سیستم های حفاظتی براساس استاندارد جهانی ساخته می شوند.

استانداردی که IEC برای این منظور پیشنهاد می کند IEC 519 می باشد .

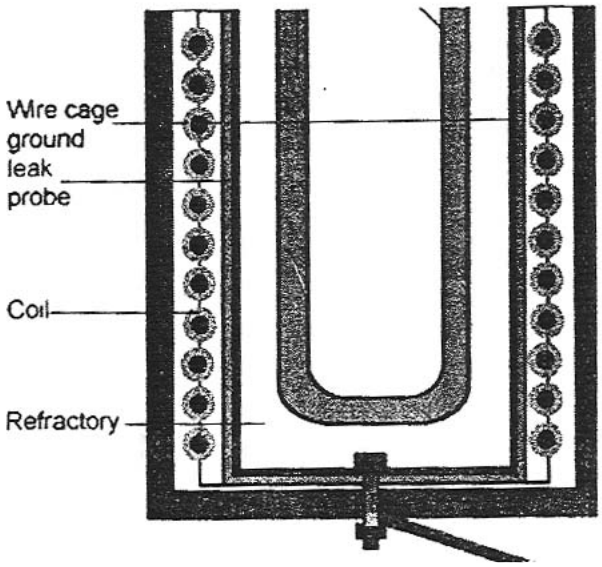
۴-۲-۱- وسیله ایمنی اتصال زمین[1] {۳}

این وسیله یکی ازمهمترین وسایل حفاظتی برای کوره های القائی ذوب به شمار می رود و به منظور تعیین ضخامت آستر کوره مورد استفاده قرارمی گیرد . آسترکوره آسیب پذیرش قسمت کوره می باشد ووجود عیب در آن خطرناک است زیرا با بروز هرگونه

1- Earth Ieakage safety deviee

عیبی در آن مذاب به داخل آن نفوذ می کند وهنگامی که به سیم پیچ رسید باعث اتصال کوتاه شدن حلقه های سیم پیچ می شود و به دلیل بـزرگ بـودن دامنـه جریـان ، باعـث آتش سوزی وانفجار می شود. برای مثال آستر، دربوته کوره های ذوبی که با فرکانس زیاد کارمی کنند وظرفیت آنها ۵۰۰ کیلوگرم و۱۰۰۰ کیلوگرم می باشـد ودرحـدود ۳۸ میلـی مترو ۷۶ میلی متر است ، که این نشان دهنده میزان آسیب پذیری کویل دربرابـر میـزان نفوذ فلزاست . حال اگر آسترخراب شود به کمک وسیله اتصال زمین که شامل یک منبـع جریان مستقیم والکترودها ستاره ای شکل[1] می باشد ، این عیب تشخیص داده مـی شـود واپراتور متوجه خرابی آستر می شود و می باید فـورا کـوره را ازمنبـع تغذیـه قطـع کنـد. درکوره های امروزی تغییرات ضخامت پوسته را به صورت پیوسته می توان مـشاهده کـرد (بااستفاده از مقاومت آسترکوره) شکل (۴-۱) محل نصب این وسیله را نشان می دهد. روش دیگر اندازه گیری مقدار سائیدگی آسترکوره ، استفاده ازضخامت سنج ها[2] می باشد که با استفاده ازآنها نازکترین نقاط آستر را می توان اندازه گرفت . ولـی ایـن روش انـدازه گیری را درهنگام خالی بودن می توان بکار برد ودرنتیجه هرنوع عیب ونقصی که درحـین عمل ذوب ممکن است بوجود آید دورازچشم باقی می ماند.

1- Spider
2- CoIipers and gauges



۴-۲-۲ – رله های فشاری

همانطورکه ذکرشد برای خنک کردن سیم پیچ کوره معمولا آب به عنوان ماده خنک کننده استفاده می شود . بعلت دامنه زیاد جریان گرمای ایجاد شده نیزفوق العاده زیاد می باشد وبنابراین آب همواره می باید درجریان باشد وتوسط برج های خنک کننده نیز دائما آب خنک می شود حال اگر یک خطای ناخواسته درمسیر حرکت آب (مانند سوراخ شدن لوله های انتقال آب) رخ می دهد که باعث افت فشار آب گردد رله هائی درمسیر جریان آب وجود دارند که به محض افت فشار عمل می کنند و آلارم تولید می کنند. دربعضی موارد نیز که کارخانه دارای منبع آب کمکی است افت فشار را ازطریق آن منبع جبران می کنند.

۴-۲-۳ – رله های ولتاژ زیاد و جریان زیاد

این رله ها همانند اکثرتاسیسات الکتریکی درکارخانه های ریخته گری که دارای کوره القائی می باشند نیز استفاده می شود که البته نقش رله جریان زیاد مهمتراست واگرجریان سیم پیچ ازحد معینی فراتر رود این رله منبع تغذیه راقطع می کند . به علت وجود دامنه جریان بالا برای حس کردن جریان از CT استفاده می گردد.

۴-۲-۴ – رله های حرارت زیاد :

اگراشکالی درسیستم خنک کنندگی کوره القائی به وجود آید ورله های فشاری آن را تشخیص ندهند حرارت کوره به شدت بالا می رود که دراین هنگام رله های حرارت زیاد عمل کرده وکلا منبع تغذیه را قطع می کنند.

۴-۲-۵ – تخلیه بارخازن ها :

کلیه خازن ها مورد استفاده درتجهیزات الکتریکی کوره های القائی اعم ازخازن های تصحیح ضریب قدرت وخازن هائی که برای متعادل کردن بار بکارمی روند می بایست پس از خروج ازمداربصورت کامل تخلیه شوند که این کار توسط یک مقاومت موازی شده

با دوسر خازن انجام می شود وبه محض اینکه خازن ازمدارخارج شد دو سرآن را اتصال کوتاه می کند وبارخازن درمقاومت تخلیه می شود ودیگرخطری برای پرسنل ندارد.

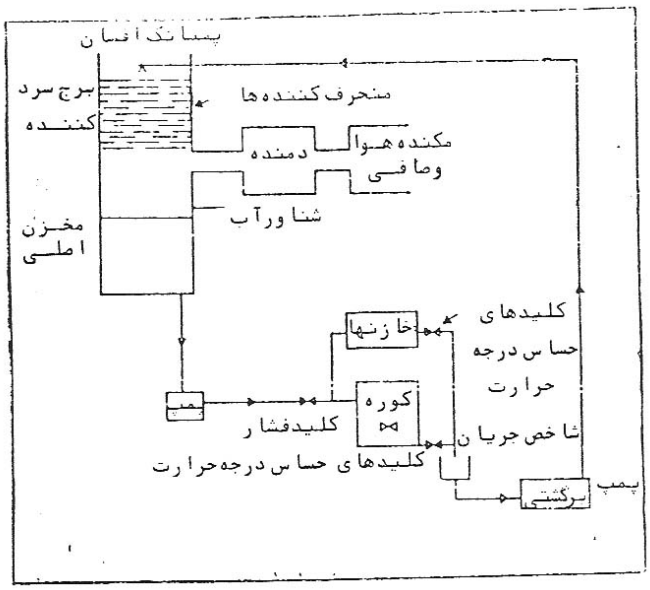
۴-۳- سیستم خنک کنندگی[1] {۳}

برای محافظت سیم پیچ وعایق دربرابر حرارت ، باید آنها را با استفاده ازحجم قابل توجهی آب خنک کرد. این مقدار آب را می توان ازمنبع لوله کشی شهریا آب محلی ، که با تلمبه ازچاه یا رودخانه کشیده می شود تامین نمود. هزینه آب شهرزیاد است وبنابراین استفاده از آن نمی تواند ازنظراقتصادی مقرون به صرفه باشد . دربسیاری از موارد ،آب را تصفیه می کنند تا ازرسوب درلوله ها وگرفتگی آنها جلوگیری گردد. وجود رسوب وگرفتگی باعث می شود که سرعت حرکت آب درلوله ها کم شود وعمل انتقال حرارتی به خوبی صورت نگیرد وسیم پیچ آسیب ببیند. عمل تصفیه یک موضوع تخصصی است وباید توسط متخصصان شیمی بررسی شود . بطورکلی با افزودن آهک وخاکستر سودا به آب ، سختی آن را گرفته و ازصافی عبورمی دهند تا مواد اضافی ورسوب آن جدا شود . برای اینکه میزان خوردگی در لوله کاهش پیدا کند بایستی pH آب را حدود ۸ (یعنی کمی قلیائی) ثابت نگهداشت . دربعضی از موارد برای اینکه میزان خوردگی وجرم گرفتگی تا

1- CooIing system

حد زیادی کاهش داده شود، از آب مقطر یا غیریونیزه دریک سیستم مداربسته استفاده می کنند. هزینه اولیه چنین سیستمی بسیارزیاد است .

پمپ ها آب را بافشار درسیم پیچ (وگاهی خازن ها) وارد می کنند. اگر آب درلوله ها جریان پیدا نکنند. کوره را نمی توان روشن کرده وبکارانداخت ،زیرا یک سوئیچ فشاری[1] درماردر نظرگرفته شده است . یک مخزن اصلی نصب شده درارتفاع نیز درمحل وجو دارد تا درصورت خراب شدن سیستم پمپ ها ، مقداری آب را تحت تاثیر نیروی جاذبه به طرف سیم پیچ جریان دهد. بعد ازمصرف ، آب ازمدارخارج شده وبه فاضلاب می رود ویا این که سرد شده ودوباره مورد استفاده قرارمی گیرد. سردکردن آب معمولا دربرج هایی انجام می شود که در آنها آب گرم ازبالا به پایین جریان دارد واز پایین جریان هوای فیلتر شده به شدت می شود. درشکل (۳-۲) یک طرح کلی ازسیستم خنک کنندگی دیده می شود.



1- Pressure switch

۴-۴ – مواد دیرگذار[1] (۳)

کوره القائی با آسترهای پوشانده می شود که درواقع جداکننده سیم پیچ کوره از ذوب می باشد. انتخاب نوع وجنس این آستر بستگی به نوع ماده ذوب شدنی دارد که بسته به نـوع مذاب می باشید ازبین نوع آستر انتخاب شود. انواع این آسترها به قرارزیراست :

۱- آسترهای اسیدی

۲- آسترهای بازی

۳- آسترهای خنثی

آسترهای اسیدی معمولا ازکوارتز بعنوان ماده اصلی درساختمان خود سود مـی برنـد کـه درطبیعت به صورت سنگهای سیلیسی یافت می شوند. امتیاز اصلی آستر سیلیسی دراین است که اگرداوم آن را درمقایسه با آسترهای بازی درنظربگیریم قیمـت آن نـصف اسـت . کثیف نشدن آستر درحین عمل ذوب ازامتیازات این نوع آستر می باشد. بـه ایـن ترتیـب نیازی به تمیز کاری نیست .

اکسید منیزیم (Mgo) که اغلب به آن منیزیت گفته می شـود. معمـولترین مـاده بـرای پوشش کوره های القائی با آستربازی می باشد. اکـسید منیـزیم خـالص کـه درسـاختمان آستر به کار می رود براثر حرارت منقبض شده ودرسطح تماس با مذاب تـرک برمـی دارد

1- Refractory Iining

که این مهمترین ضعفت این نوع آسترها است که درکوره های فرکانس شبکه چون عامل بهم خوردن شدید است اصلا استفاده نمی شود.

ماده اصلی آسترهای نوع خنثی اکسید کرومیک است (ترکیب) که درمجموع آستر چندان مناسب نمی باشد وکمتربه کار می رود.

۴-۴-۱ – آسترکشی کوره

درکوره های القائی اولیه ازبوته های پیش ساخته مشابه استفاده می گردید وبرای ساختن آنها نیز از موادی مانند خاک نسوز یا سرب سیاه (مخلوطس ازخاک رس وگرافیت) استفاده می شد. این مواد را با هوا خشک می کردند وبه صورت متراکم برروی سیم پیچ می کشیدند. عمراین نوع کوره ها خیلی کوتاه بودو به طور متوسط فقط برای ۴ تا۵ بارذوب داوم می آورد. روشی که بعدا مورد استفاده قرارگرفت استفاده از آجر برای آسترکشی کوره ها بود. اشکال اصلی این روش این بود که اتصالات آجرها باید طوری باشد که ازنفوذ فلزمذاب جلوگیری شود. دراین حالت آجر چینی باید به دقت انجام شود و آجرها باید درتس درسرجای خودشان قرارگیرند چون وجود هرانحراف کوچکی درآجر چینی موجب سست بودن آن قسمت ازآستر می شد وخطر نفوذ ذوب به سیم پیچ را به همراه داشت .

امروزه از آسترهای مدرن که ذکرآنها رفت استفاده می شود وتوسط شابلن ویک ویبراتور آنها رابه بدنه می کوبند دراین نوع آسترکشی با شکل دادن کف کوره ، کارآسترکشی شروع می شود. دراین حالت ، دو یا سه اینچ ازمخلوط را روی کف کوره ریخته وبا استفاده از یک کوه آنرا می کوبند. پس از آن ، شابلن را سوارمی کنند. این شابلن ها معمولا ازجنس فولاد نرم ساخته می شود اگر چه آزبست نیزمی توان استفاده کرد ولی امروزه به علت مسائل زیست محیطی از آن استفاده نمی شود. شابلن ها به تناسب قطرکوره وضخامت آسترساخته می شوند.پس ازسوارکردن شابلن باید دقت شود که شابلن دقیقا درمرکز سیم پیچ قرارداده شود. ماده دیگرگداز درفضای بین شابلن وسیم پیچ ریخته وکوبیده می شود. با ارتعاش شابلن درحین کوبیدن ، آستر درسرجایش بیشترمحکم می شود ودرحقیقت دیواره های جانبی را با این روش بنا می کنند. شابلون درکوره باقی می ماند وبا اولین بار کوره ذوب می شود. کارکوره با توان کم شروع می شود وتوان آن تدریجا زیاد می گردد تا کوره خوب ذوب شود. به این ترتیب ، آسترفرصت دارد تا قبل از ذوب شابلن وازدست رفتن تکیه گاه مواد شل خودش را بگیرد. درکوره های مدرن امروزی این عمل پخت تدریجی ، به صورت اتوماتیک انجام می شود . بدین ترتیب که دستگاهی وجود دارد که با توجه به مشخصات ماده تشکیل دهنده آستر کنترل

اتوماتیک کوره را به عهده می گیرد وطبق نمودار خاص همان آستر، میزان حرارت وزمان آنرا کنترل می کند تا به اصطلاح آسترپخته شود[۱].

قبل ازنصب آستر جدید ، سیم پیچ وعایق آن را بایستی وارسی کرد چون اغلب دیده می شود که درحین کندن آستر کهنه ، خرابیهای جزئی درعایق وسیم پیچ بوجود می آید. خرابیهای عایق را می توان با استفاده از چسب اپاکسی[۲] وخمیر آزبست به خوبی تعمیر کرد. اتصال شبکه به زمین را نیز قبل از اینکه کف کوبیده شود بایستی تعویض کرد. درمواردی که آستر به کلی فرسوده نشده باشد می توان آنرا تعمیرکرد . معمولا کف کوره زودتر ازسایرنقاط فرسوده می شود که با تعمیراین نقاط فرسوده می توان عمر آستر رازیاد کرد .

بطورنمونه دریک کوره ذوب القائی ۵ تن بدون هسته ،عمرآستر درحدود ۴۰۰ تن ذوب می باشد.

تعمیر آستر معمولا توسط شابلن کاذب انجام می شود.

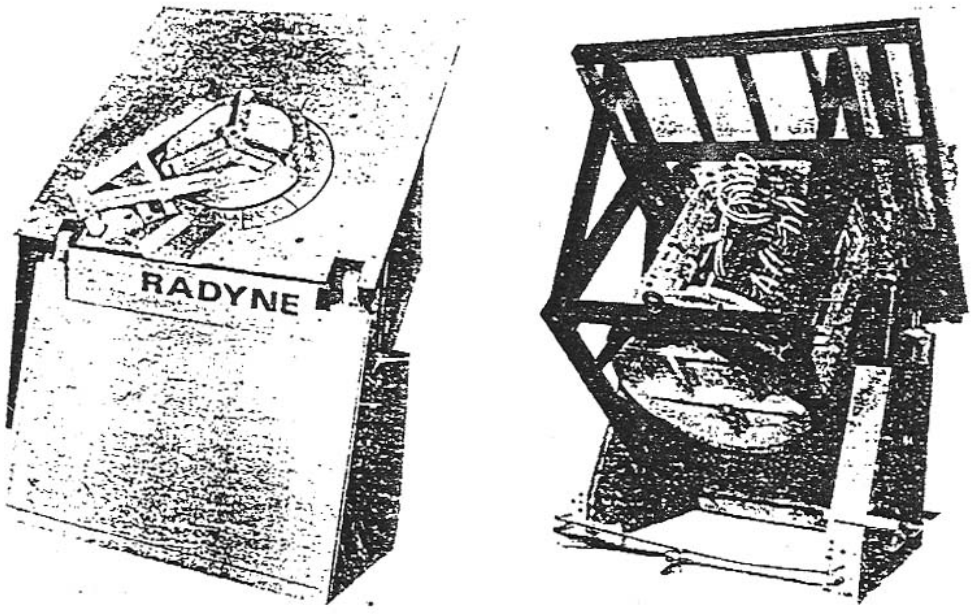
---

۱ این دستگاه به نام Automatic sinteing unir

2- Epoxy resin

۴-۵- سیستم تخلیه مذاب

دراکثرانواع کوره های القائی ذوب ، برای تخلیه مذاب ، کل کوره های همراه با سیم پیچ حول یک محور می چرخد وذوب ازداخل کوره تخلیه می شود شکل (۴-۳الف – ب) برای این منظور جک های هیدرولیکی خاصی زیرکل کوره تعبیه شده اند که موجب این چرخش می شوند. کوره ها قابلیت چرخش تا ۹۵ درجه رانیز دارند. همانگونه که ذکرشد ، امروزه کوره هایی طراحی شده اند که بدون چرخش قادربه تخلیه ذوب می باشند. وبه کوره های خودریز[1] معروف می باشند ومعمولا درخطوط ذوب اتوماتیک به خود بخشی ازخط تولید یک کارخانه می باشد به کار می روند .



(ب) (الف)

1- SeIf pouring

۴-۶ – بانک خازن {۸}

بانک های خازنی یکی ازمهمترین ملزومات کوره های القائی ذوب می باشند کـه بـرای دو منظورصحیح ضریب قدرت ومتعادل سازی بارمورد استفاده قرارمی گیرند.

الف – تصحیح ضریب قدرت :

ضریب کوره های القـائی همانطورکـه ذکرشـد بـسیارپائین ودرحـدود ۰/۱۵ مـی باشـد و درنتیجه برای تصحیح این ضریب قدرت مجبوربه استفاده ازبانک خازنی می باشیم . البتـه بسته به بارکوره ضریب قدرت کوره متفاوت می باشد وبنابراین احتیاج به یک سری بانـک خازنی متغیر نیز داریم . به طورکلی دراکثر کوره ها ۴۰ درصد ازکل توان راکتیو را توسط بانک های خازنی ثابت و۶۰ درصد باقیمانده را توسط بانک های خازنی متغیر جبران مـی کنند.

ب) متعادل نمودن بار برروی سه فاز:

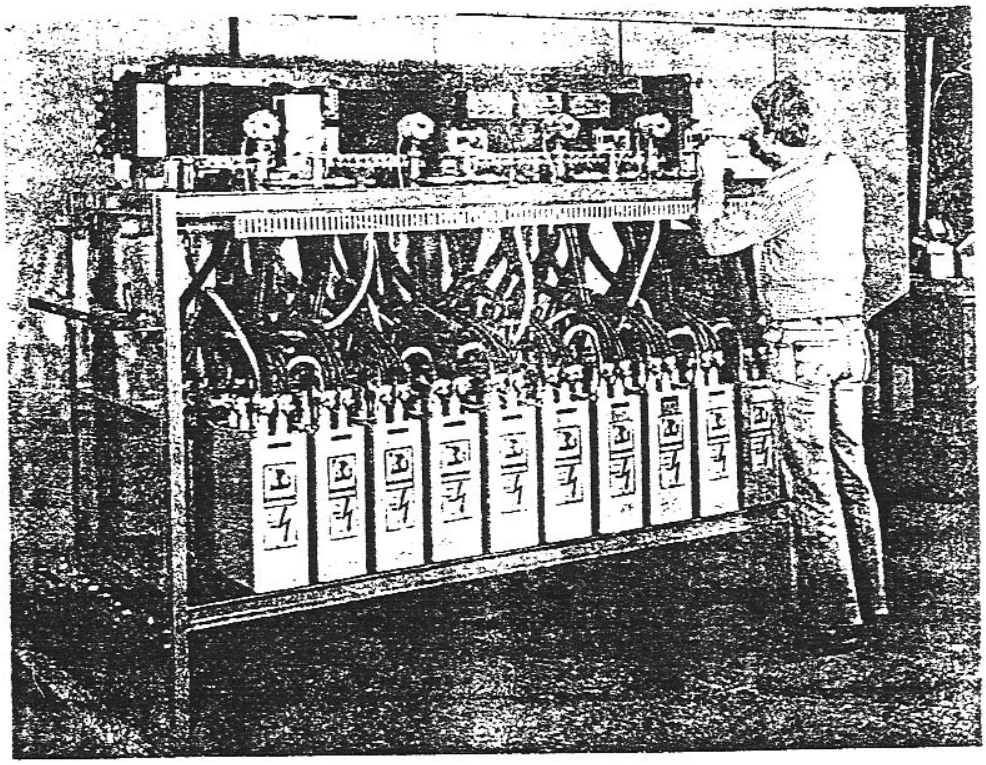
اکثرکوره های القائی ذوب دو فلز کارمی کنند وبا توجه به توان نسبتا بالای این کـوره هـا می باید این باربه صوت متعادل برروی سه فازتقسیم شود که برای این منظور ازمـدارهای متعادل کننده ای ، شامل بانک خازنی ویک سلف یا راکتوراستفاده می شود.

درشکل (۴-۴) یک نمونه ازبانک خازنی رامشاهده می کنید .

درمورد متعادل کردن بار وتـصحیح ضـریب قـدرت درفـصل بعـدی بـه تـشریح مـدارها و عملکرد آنها می پردازیم .

۴-۶-۱- حفاظت خازن ها :

همه خازن های فشارقوی می بایست درمقابل انواع خطاهای محافظت بشوند که این کار به طریق زیرصورت می پذیرد :



- حفاظت فیوزی خازن ها :

خازن های فشارقوی (مانند خازن های مورداستفاده از کوره های القائی) با توجه به ظرفیت مورد نظرآنها دارای تعدادی المان خازنی می باشند که به صورت موازی وسری بسته می شوند ودرکل ظرفیت مورد نظر را تامین می کنند . با هرکدام ازاین المان های موازی یک فیوز سری می شود که درصورت خرابی هرالمان کل بانک خازن ازمدارخارج

نمی شود. وفقط همان المان معیوب ازمدارخارج می شود .ظرفیت خازن درکل برابر است با :

رابطه (۴-۱)

که دراین رابطه S تعداد المان های سری و P تعداد المان های موازی و نیزظرفیت هریک ازالمان ها می باشد کیلووار . بنابراین تعداد فیوز مصرفی درهربانک خازنی نیزبرابر با P می باشد. مشکل عمده این نوع فیوزها این است که تنها درصورت اندازه گیری ظرفیت خازن می توان پی به خرابی المان ها برد.

استاندارد IEC 594-77 مشخصه های زیررا برای فیوزها توصیه کرده است :

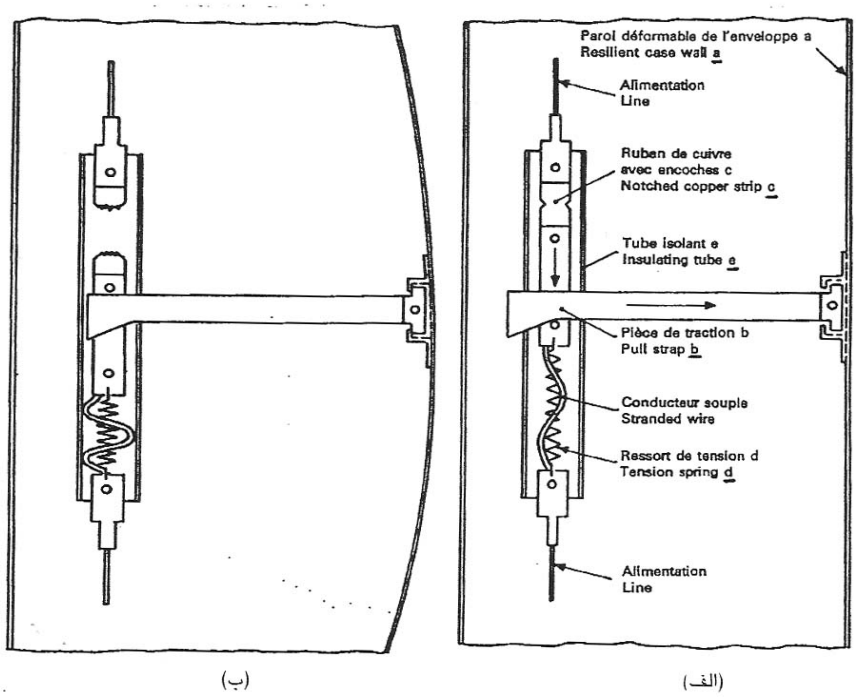
- فیوزها باید قابلیت عبورجریانی تا ۱٫۲۵ برابر جریان نامی را درطول عمرخازن داشته باشد .

- فیوزباید می باید قابلیت عملکرد بدون مشکل برای ۱۰۰ بارقطع ووصل روزانه خازن را داشته باشد.

- حفاظت خازن ها دربرابر فشارزیاد : {۸}

خازن های فشارقوی مجهز به قطع کننده هایی می باشند که چنانچه فشارتانک خازن ازحد معینی فراتررود این قطع کننده عمل می کنند وخازن را ازمدار جدا می کند ومانع از ترکیندگی خازن ها می گردد درشکل (۴-۵) طرزکار این نوع قطع کننده ها مشاهده می گردد.

هنگامی که فشارمحفظه ازحد معینی فراترمی رود دیواره ارتجاعی[۱] محفظـه (a) بـا یـک برآمدگی به طرف بیرون پیدا می کند. با حرکت این دیواره تسمه[۲] (b) کشیده می شـود ودر نتیجه قطعه باریک شکاف دار[۳] (c) که ازجنس مس می باشد به دوقسمت پـاره مـی شود ومدار قطع می شود ، البته یک فنر[۴] (d) تعبیه شده است که به محض پـاره شـدن باریکه مسی ، جمع می شود وجرقه ایجاد شده وبه سرعت خاموش می شود . تمامی ایـن ملحقات درون یک محفظه عایق[۵] (e) که ازروغن پرشده است قراردارند که مـانع از ایجـاد وگسترش جرقه می شود.



1- Resiiient cose waII
2- Strap
3- Notched copper strip
4- Tenasion Spring
5- InsuIation tube

۴-۷- سیم پیچ کوره های القائی {۴}

سیم پیچ کوره ازلوله مسی با هدایت الکتریکی بالا ساخته می شوند که توسط جریان آب داخل آنها خنک می شوند وبرای فرکانس های ۵۰ و۶۰ هرتز سطح مقطع سیم پیچ به صورت D شکل می باشد که طرف مسطح D روی کوره پیچیدمی شود وبه قدرکافی ضخیم ساخته می شود تا بتواند جریان باررا تحمل کند . (به طورمتوسط ضخامتی برابر با ۱۰ میلی متردارند.

اخیرا به جای سیم پیچ های D شکل ازسیم پیچ های با سطح مقطع مستطیل شکل استفاده می شود که طول مستطیل دارای ضخامت بیشتری است که می باید بیشترجریان را تحمل کند ودقیقا ازپشت این طول ، آب خنک عبورمی کند ودراین نوع سیم پیچ ها عمل خنک سازی بهتر انجام می شود.

عایق بندی سیم پیچ با بدنه کوره باید برای حداکثر ولتاژ موثر دائمی تغذیه وهمچنین برای ۵ تا۷ برابر این مقدار برای ولتاژهای گذارطراحی شود. عایق بین هردوسیم پیچ نیز باید مناسب انتخاب شود . معمولا ولت بردورکوره های ذوب ۱۰۰ ولت بردور وبه ندرت به ۲۰۰ ولت بردور می رسد وعایق باید این قابلیت را داشته باشد که درتمام مدت ذوب دردمای بالا ، کیفیت عایقی خود را ازدست ندهد.

تلفات درسیم پیچ فوق العاده بالا می باشد ودرحدود ۳۰ درصد از توان ورودی به سیم پیچ به گرما تبدیل می شود وتوسط آب خنک می شود . دربعضی از کوره ها خنک سازی

اضافی در بالا وپائین کوره انجام می شود بدین صورت کـه عـلاوه بـرآب عبـوری ازداخـل سیم پیچ لوله های آب اضافی کنارآن طراحی می شود. درشکل (۴-۶) قـسمتی از سـیم پیچ یک کوره القائی بدون هسته مشخص است .

۴-۷-۱- ضریب کیفیت سیم پیچ کوره

مدارمعادل پیچ کوره با پارامتری بدون بعد ، به نام ضریب کیفیت (Q) تعریف مـی شـود که ازرابطه زیر محاسبه می شود :

رابطه (۴-۲) $$Q = \frac{\omega Leq}{\mathrm{Re}\, q}$$

که درآن:

فرکانس زاویه ای جریان سیم پیچ

Leq اندوکتانس معادل سیم پیچ

Req مقاومت معادل سیم پیچ

می باشد . ودرواقع بالا بودن مقداراین ضریب نشان دهنده کیفیت بهتر سـیم پـیچ اسـت وهرچه این ضریب بالاتر باشد راندمان کوره بالاتراست .

۴-۸- ترانسفورماتور

معمولا کوره های القائی ذوب درولتاژی های بالا کار می کننـد (درحـدود ۱۰۰۰ ولـت) واحتیاج به یک ترانسفورماترو کاهنده مـی باشـد تـا ولتـاژ توزیـع (۲۰kv) را بـه ولتـاژ کارکوره تبدیل کند. لازم به ذکر است که ترانسفورماتورهای مورد استفاده می بایـد دارای تپ های مختلف باشند تا بتوان برای بارهای مختلـف ازتـپ هـای مناسـب (ولتـاژ هـای مناسب) استفاده نمود. وبا استفاده از این تپ چنجر می توان دمای کوره را کم وزیاد کرد.

۴-۹- سلف کوره های القائی

درکوره های القائی ذوب برای متعادل کردن باروتقسیم آن برروی سه فاز ازیـک مـداریک سلف ویک خازن استفاده می گردد که دربعضی موارد ازسلف متغیراستفاده می شود ولـی به علت مشکلات فراوانی که سلف متغیر دارد سعی می شود که سلف ثابت همراه با خازن های متغیر استفاده شود. این نوع سلف ها احتیاج به خنک کردن مـداوم دارنـد کـه ایـن عمل دراکثر موارد توسط فن های بزرگ انجام می شود ولی درمورد کوره های با ظرفیـت بالا (بالای ۱۰ تن) از آب به عنوان خنک کننده استفاده می شود

۴-۱۰ – طرح کلی یک کوره القائی {۱۰}

شکل (۴-۷) یک طرح کلی ازکوره القائی را نشان می دهد که قسمت های مختلف آن عبارتند از :

۱- کوره

۲- درب متحرک کوره

۳- دودکش کوره

۴- فرنانسیون کوره

۵- جک های هیدرولیکی

۶- پمپ های هیدرولیکی

۷- میزکنترل

۸- تابلوی کنترل

۹- ترانسفورماتور

۱۰- کتاکتوراصلی

۱۱- سلف متعادل کننده

۱۲- بانک خازنی متعادل کننده

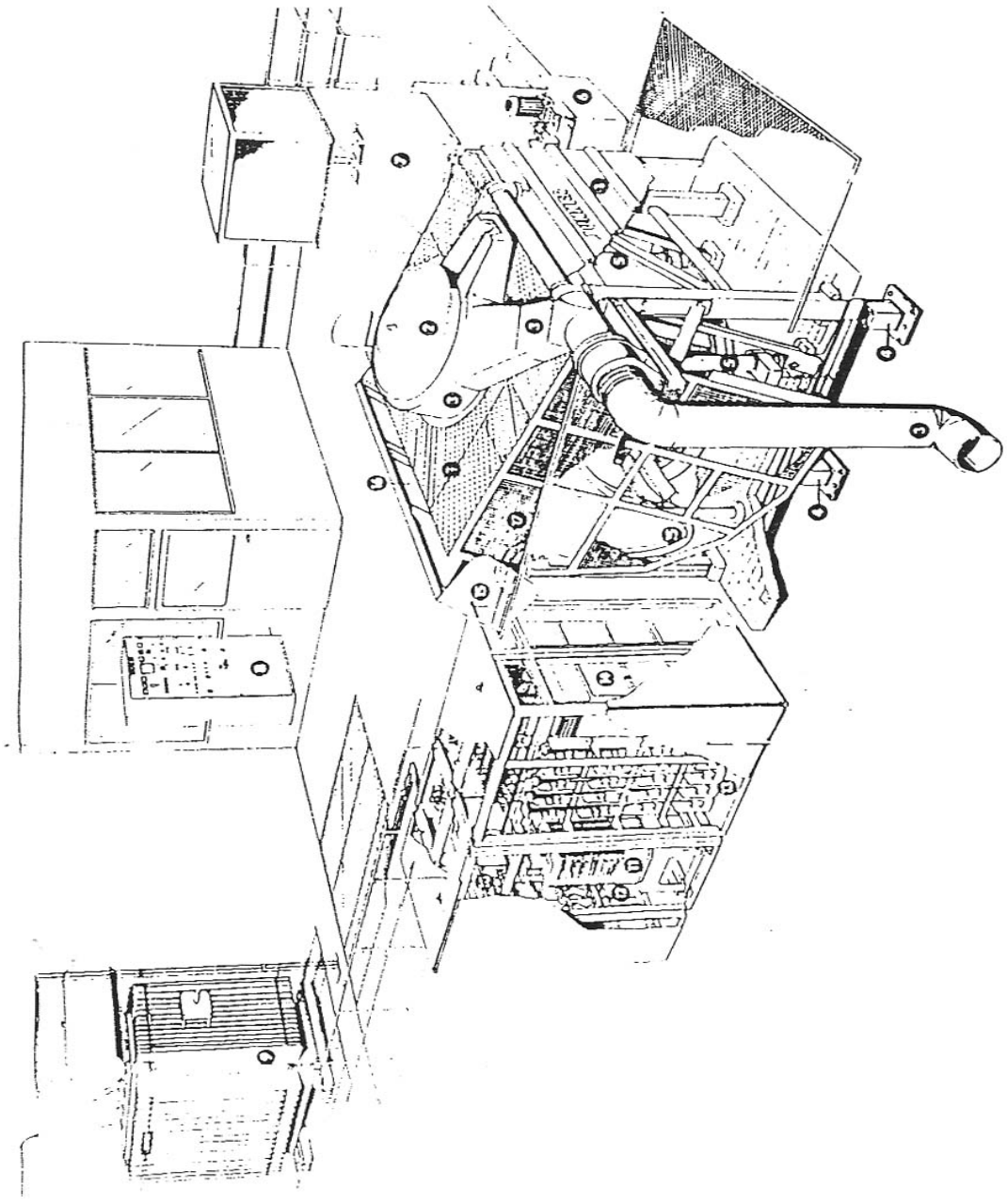
۱۳- بانک خازنی تصحیح ضریب قدرت

۱۴- ک تهویه

۱۵- کابل های انتقال قدرت

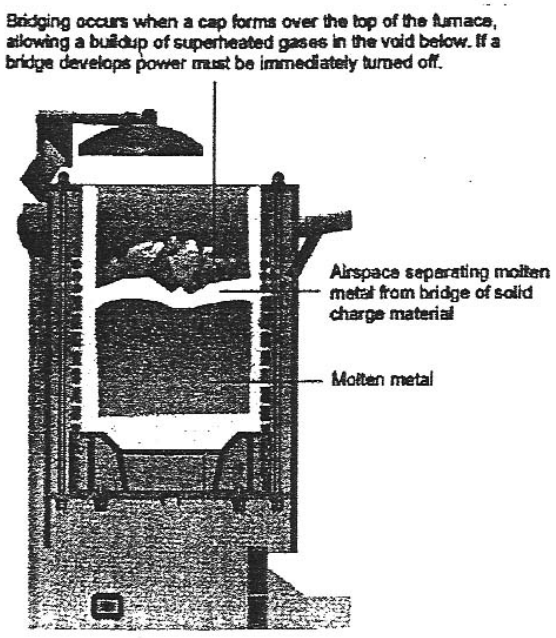
۱۶- پوشش فولادی کوره

۱۷- پوشش توری مانند کوره



۴-۱۱ – مسئله « پل »[1] درکوره های القائی

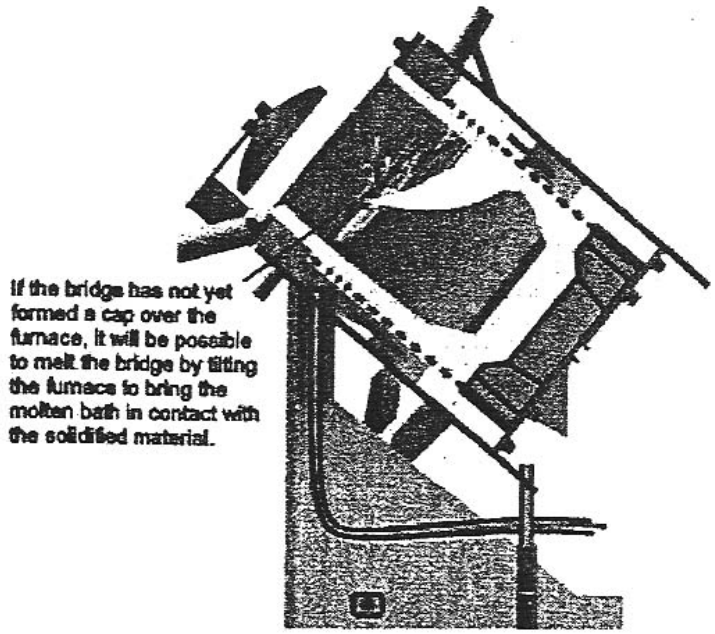
هنگامی که مقدار قابل توجهی ازقراضه روی سطح مذاب بماند وداخل همدیگر گیرکنـد و درون مذاب فرونروند ایجاد یک پوشش محکمی روی مذاب می کنند که با مـذاب فاصـله دارد و یک فاصله هوایی بین مذاب واین پوشش بوجود می آید که این فاصله همانند یـک عایق عمل می کند ومانع ازذوب شدن پوشش می شود (شکل ۴-۸) . دراین حالت لحظه به لحظه دمای مذاب بالاتر می رود واین باعث می شود آستر دیرگذار کوره سـریعا ازبـین برود ومذاب به سیم پیچ نفوذ کرده وباعث آتش سوزی وانفجارشود.



مساله « پل» درهرنوع کوره القائی ممکن است بوجود آید واپراتورهـای کـوره القـائی مـی باید این مساله راسریعا تشخیص دهند ونحوه حل این مشکل رابدانند.

1- Bridging

استفاده ازقراضه های با اندازه های مختلف واضافه کردن آرام آرام به مذاب تا حد زیادی می تواند ازایجاد این مشکل جلوگیری کند.



هنگام رخ دادن چنین مساله ای می باید به سرعت کوره بی برق شود واگرپل به طورکامل بسته شده است بهترین راه این است تا سرد شدن کامل مذاب صبرکرد. زیرا فشار مذاب بسیاربالا رفته و اگرمنفذی درپل ایجاد شود مذاب با فشار به بیرون فوران می کند وباعث آتش سوزی می شود. اگرپل به طورکامل محکم وسفت نشده باشد می توان کوره را تا ۴۵ درجه چرخاند تا مذاب پوشش پل را مذاب کند ومشکل حادی ایجاد نشود. دراین حالت نیز باید کوره خاموش باشد وپرسنل را کنارکوره کناربروند. تحت هیچ شرایطی نباید ازجوش اکسیژن برای سوراخ کردن پل استفاده کرد.

پس ازاینکه کوره را چرخاندیم ومذاب ، پوشش پل را ذوب کرد کوره رابه حالت اول برمی گردانیم واگرشرایط زیربرقرار بود ازروشن کردن کوره خودداری باید کرد درغیراین صورت می توان به کارادامه داد:

۱- اگروسیله ایمنی اتصال زمین خطا داده باشد نشان دهنده عیب در آستراست ونباید کوره را روشن کرد.

۲- تفاله زیادتراز حد معمول درسطح مذاب دیده می شود که نشان دهند ازبین رفتن بیش از حد آستر می باشد وکوره را نباید روشن کرد.

۳- درجه حرارت آب درون سیم پیچ ازحد معمول بیشترباشد.

به هرصورت پس ازایجاد پدیده پل بهتراست کوره رابه سرعت تخلیه کرد وآستر کوره را تعویض کرد .

نشانه های بروز پدید ه پل:

بهترین نشانه پدیده پل درکوره های القائی ذوب این است که عمل ذوب بیش از حد معمول طولانی شود وافزایش قدرت نیز تاثیری نداشته باشد. نشانه دیگر ، ایجاد شعله های آبی رنگ درسطح مذاب می باشد (درمذاب های آهنی) زیرا دراین حالت بین ذوب و آستر کوره یک فعل وانفعالات شیمیایی صورت می پذیرد (تحت دمای خیلی بالا) که باعث ایجاد مونواکسید کربن می شود که این گاز نیز باعث ایجاد شعله های آبی رنگ می شود.

۴-۱۲- خطرقراضه های مرطوب

اگراب با مذاب درتماس باشد با نسبت حجمی ۱ به ۱۶۰۰ به بخار تبدیل شده واین افزایش حجم باعث ایجاد انفجار وپاشش به مذاب اطراف می شود وباعث ایجاد آتش سوزی می شود . پس می باید درانتخاب قراضه های دقت لازم به عمل آید. دربعضی از کارخانه های ریخته گری بزرگ حتی قبل ازاینکه قراضه را درون کوره بریزند توسط یک کوره معمولی با سوخت فسیلی عملی پیش گرم کردن قراضه انجام می شود که این کارباعث می شود رطوبت وروغن این قراضه گرفته شود ومشکلی برای کوره القائی ایجاد نشود.

فصل پنجم

اصول جبران سازی بارومتعادل کردن آن

۵-۱- مقدمه

کوره های القائی فرکانس شبکه که درصنعت به منظور ذوب کردن فلـزات بکـارمی رونـد معمولا دارای ضریب قدرت بسیارپائینی می باشند وهمچنین اکثر آنها دوفاز کارمی کننـد و به علت توان نسبتا بالای کوره ها می باید این بار برروی سه فـاز تقـسیم گـردد. درایـن بخش به بررسی مدارهایی که برای حل این دو موضوع ارائه می شود می پردازیم .

۵-۲- تصحیح ضریب قدرت وجبران سازی { ۱۰,۲}

جبران بارعبارتست از مدیریت توان راکتیو که به منظوربهبود بخشیدن به کیفیـت تغذیـه درسیستم های قدرت انجام می گیرد . اصطلاح جبران بار درجایی استعمال می شود کـه مدیریت توان راکتیو برای یک بار تنها (یا گروهی ازبارها) صورت پذیرد ووسـیله جبـران کننده معمولا درمحلی که درتملک مـصرف کننـده قـراردارد، درنزدیـک بـار نـصب شـود (درسیستم های قدرت درپست های توزیع).

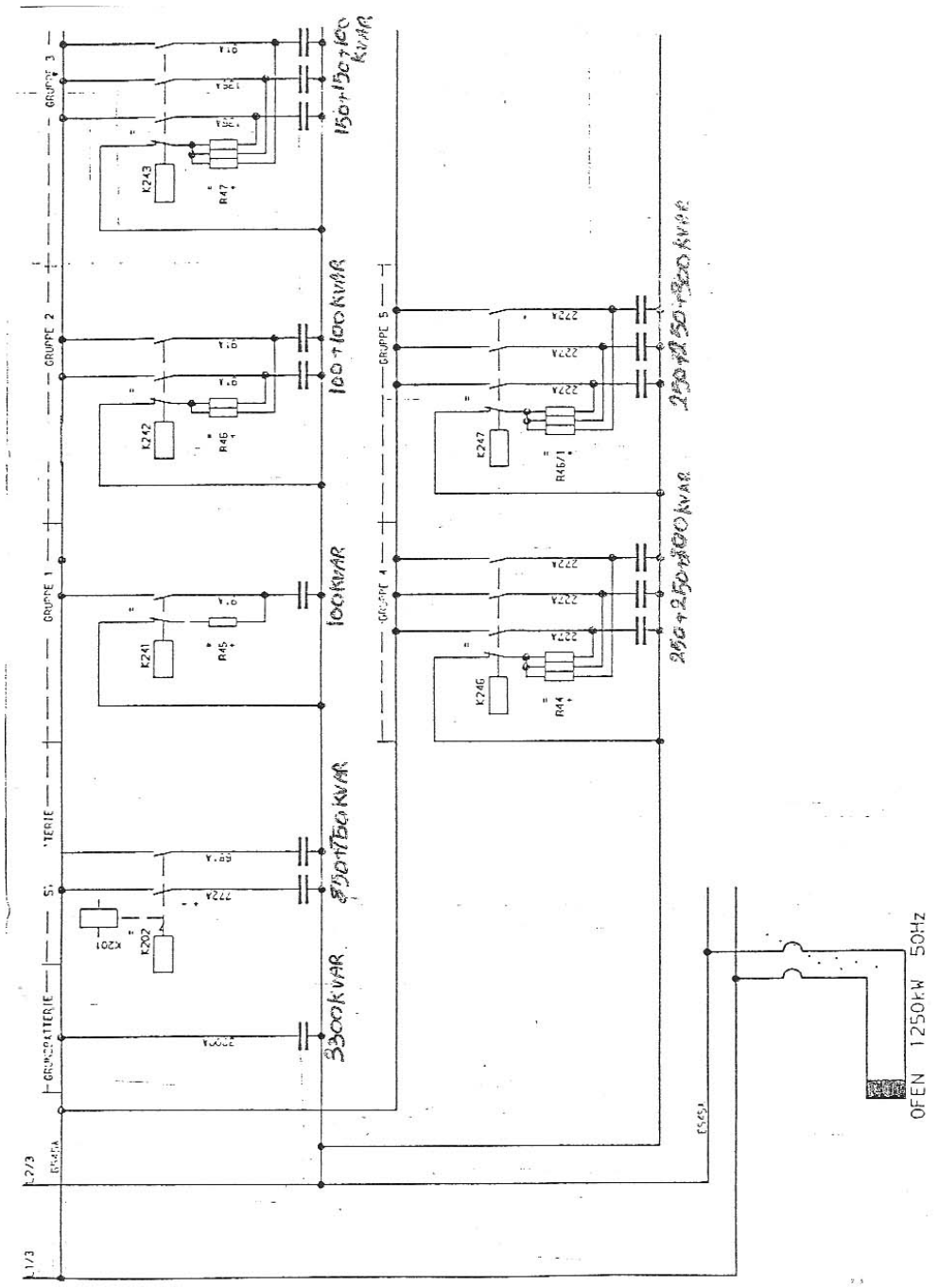
اغلب بارهای صنعتی ازجمله کوره های القائی ، دارای ضریب توان پس فاز هـستند یعنـی توان راکتیو جذب می نمایند. بنابراین جریان بارمقدارش از آنچـه کـه بـرای تـامین تـوان واقعی ضرروی است بیشترخواهد بود. تنها توان اکتیو است که سـرانجام درتبـدیل انـرژی مفید بوده وجریان اضافی نشان دهنده اتلاف است که مشتری نه تنها بایستی بهای هزینه

اضافی کابلی که آن را انتقال می دهد بپردازد بلکه تلفات ژولی اضافی ایجاد شده درکابل تغذیه را نیز می پردازد. موسسات تولید کننده همچنین دلیل کافی برای عدم ضرورت توان راکتیو غیر ضروری اززنراتورها به بار، را دارند و آن این است که ژنراتورها وشبکه های تغذیه بسیارمشکل خواهد بود. تعرفه های برق تقریبا همواره مشتریان صنعتی را به واسطه بارهای با ضریب توان پائین آنها جریمه می نمایند واین عمل سالیان متمادی انجام گرفته ودرنهایت منجربه توسعه گسترده کاربرد سیستم های اصلاح ضریب توان درمراکز صنعتی شده است .

درمورد کوره های القائی این مشکل به علت پائین بودن ضریب قدرت (درحد ۱۵ر ۰) به مراتب حادتر می باشد وبه همین دلیل می بایست ازمدارهای مناسب جهت تصحیح ضریب قدرت استفاده کرد . همانگونه که ذکرشد دراین نوع کوره ها معمولا ۴۰ درصد ازکل ظرفیت مورد نیاز توان راکتیو توسط بانک های خازنی ثابت تامین می شود و ۶۰ درصد مابقی توسط بانک های متغیر با ظرفیت های پائین ترتامین می شود زیرا همزمان با زیاد شدن بارکوره ، توان راکتیو نیز اضافه می شو دونیاز است تا مقدارخازن بیشتری وارد مدار شود بنابراین می بایست پله ها حتی المقدورکوچک انتخاب شود. خازن ها توسط رگولاتورها وارد وخارج می شوند.

- یک نمونه عملی از تصحیح ضریب قدرت

برای آشنایی بیشتر با این نوع مدارها یک نمونه عملی از تصحیح ضریب قدرت توسط بانک خازنی ثابت ومتغیر درشکل (۵-۱) مشخص است .



این مداربرای تصحیحی ضریب قدرت یک کوره القائی ذوب فرکانس شبکه بدون هسته با ظرفیت وزنی ۵ تن وظرفیت توان مصرفی حداکثر ۱۲۵۰ کیلو وات می باشد. با توجه به ضریب قدرت حدود ۰٫۱۷ این کوره توان راکتیوی درحدود ۷۲۰۰ کیلو وات برای تصحیح ضریب قدرت این کوره مورد نیاز می باشد ه با توجه به آنچه ذکرشد درحدود ۴۶ درصد این توان (یعنی حدود ۴۰ درصد) . توسط یک بانک خازنی ثابت با ظرفیت ۳۳۶۰ کیلو وار و مابقی توسط خازن های با ظرفیت های ۸۵۰ ، ۷۵۰ ، ۳۰۰، ۲۵۰، ۱۵۰و ۱۰۰ کیلو وار جبران می شود. همان گونه که قبلا ذکرشد ودرشکل نیز مشاهده می کنید به منظورایمنی ، برای هرخازن یک مقاومت درنظرگرفته شده که به محض خروج آن خازن ازمدار، دو سرآن را اتصال کوتاه می کند.

۵-۳- متعادل کردن بار {۱۰و۲}

اکثرسیستم های قدرت ac، سه فاز بوده وبرای عملکرد متعادل طراحی می شوند. عملکرد نامتعادل منجربه ایجاد مولفه های جریان توالی صفرومنفی می گردد. این گونه مولفه های جریان اثرات نامطلوبی چون ایجاد تلفات اضافی درموتورها ومولد ها ، گشتاور نوسانی درماشین های ac، افزایش ریپل دریکسو کننده ها ، عملکرد غلط انواع تجهیزات، اشباع ترانسفورماتوروجریان اضافی سیم زمین را به دنبال خواهد داشت .

با توجه به موارد فوق اهمیت متعادل کردن بار را درکوره های القائی (وسایر تجهیزات) درمی یابیم .

همانطور که اشاره شد اکثر کوره های القائی بصورت دوفازکارمی کنند و می بایست بارآنها (که نسبتا قابل توجه نیز می باشد)، برروی هرسه فاز تقسیم شود . برای این منظور ازمدارمتعادل کننده که شامل یک سلف ویک خازن می باشد استفاده می شود. درادامه ، ابتدا اصول این روش را بیان می کنیم ودرانتها نیزنمونه ای عملی ازاین مدار را ارائه خواهیم داد.

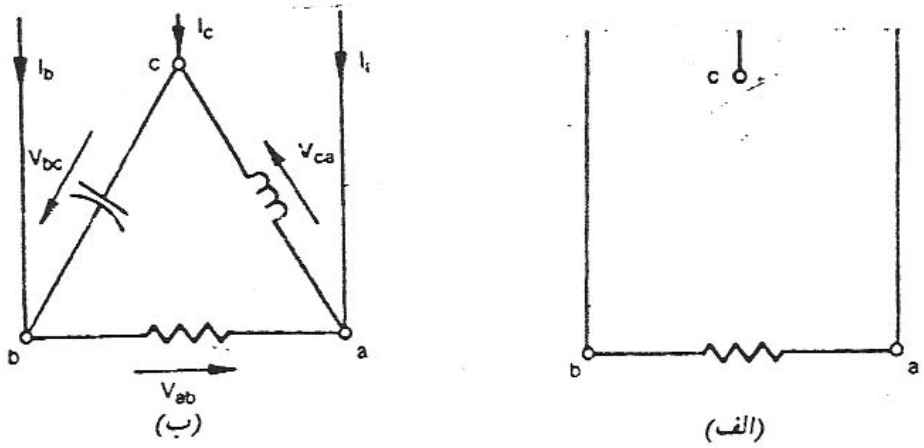
۵-۳-۱- مدارمتعادل کننده ایده آل

به عنوان اولین قدم درجهت متعادل کردن بار کوره ، باردو فاز R_Lرا در نظر می گیریم (شکل ۵-۲) که درواقع همان بار ما (کوره القائی) می باشد که ضریب توان آن توسط خازن های اصلاح ضریب توان به « یک » (تقریبا) رسیده ومی توان آن را به صورت یک مقاومت خالص فرض کرد . برای آنکه بتوانیم این بار را به سه فاز تقسیم کنیم می باید امپدانس هائی را مطابق شکل (۵-۲-ب) به صورت مثلث به این بار اضافه کنیم .

رابطه (۵-۱) $X_C = -j\sqrt{3}R_L.$

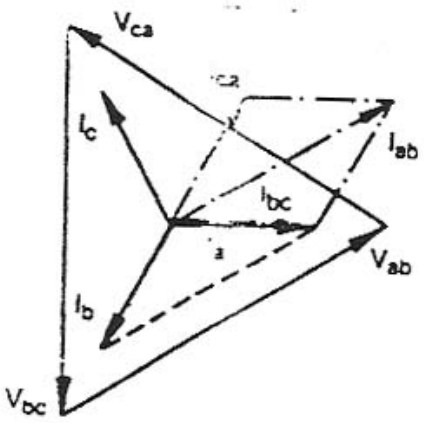
و

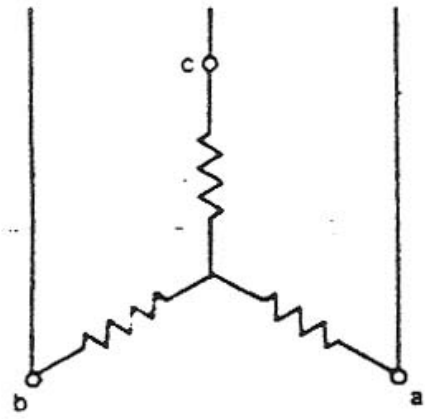
رابطه (۵-۲) $X_L = -j\sqrt{3}R_I.$



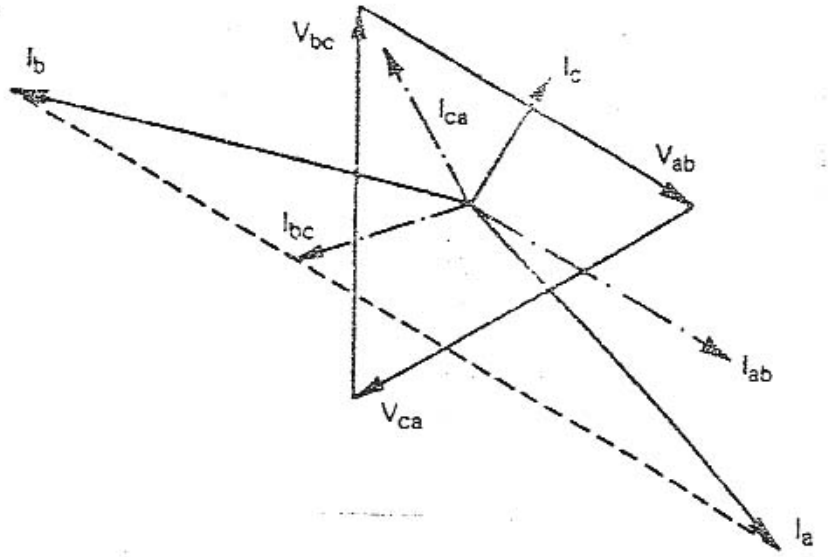
دیاگرام جریان های خط و برای ولتاژهای سه فاز درشکل (۵-۳) نشان داده شده است . جریان های خطوط نه تنها متقارن هستند بلکه با ولتاژ های مربوط به خودشان هم فاز نیزمی باشند ، طوری که هرفاز سیستم تغذیه با اتصال ستاره ، یک سوم کل توان را تامین می کند وهیچ نیازی به تغذیه توان راکتیو نمی باشد ومدارمعادل ما شامل مقاومت های با اتصال ستاره خواهد بود که هرکدام دارای امپدانس R_Lمی باشد (شکل ۵-۴) .

توان کل برابرا است با که درآن V مقدار موثر ولتاژ فاز – نول سیستم تغذیه است که فرض شده است متقارن باشد ضریب توان کل وضریب توان هرفاز سیستم تغذیه برابر واحد است ، گرچه جریان ها درسه شاخه اتصال مثلث نامتعادل هستند یک تعادل توان راکتیو دردرون اتصال مثلث وجود دارد که درآن توان راکتیو تولید شده توسط خازن واقع بین خطوط b وc، باعث توان جذب شده توسط اندوکتانس واقع بین خطوط c و a برابر است طوری که سیستم تغذیه توان راکتیو جذب ویا تولید نمی کند.

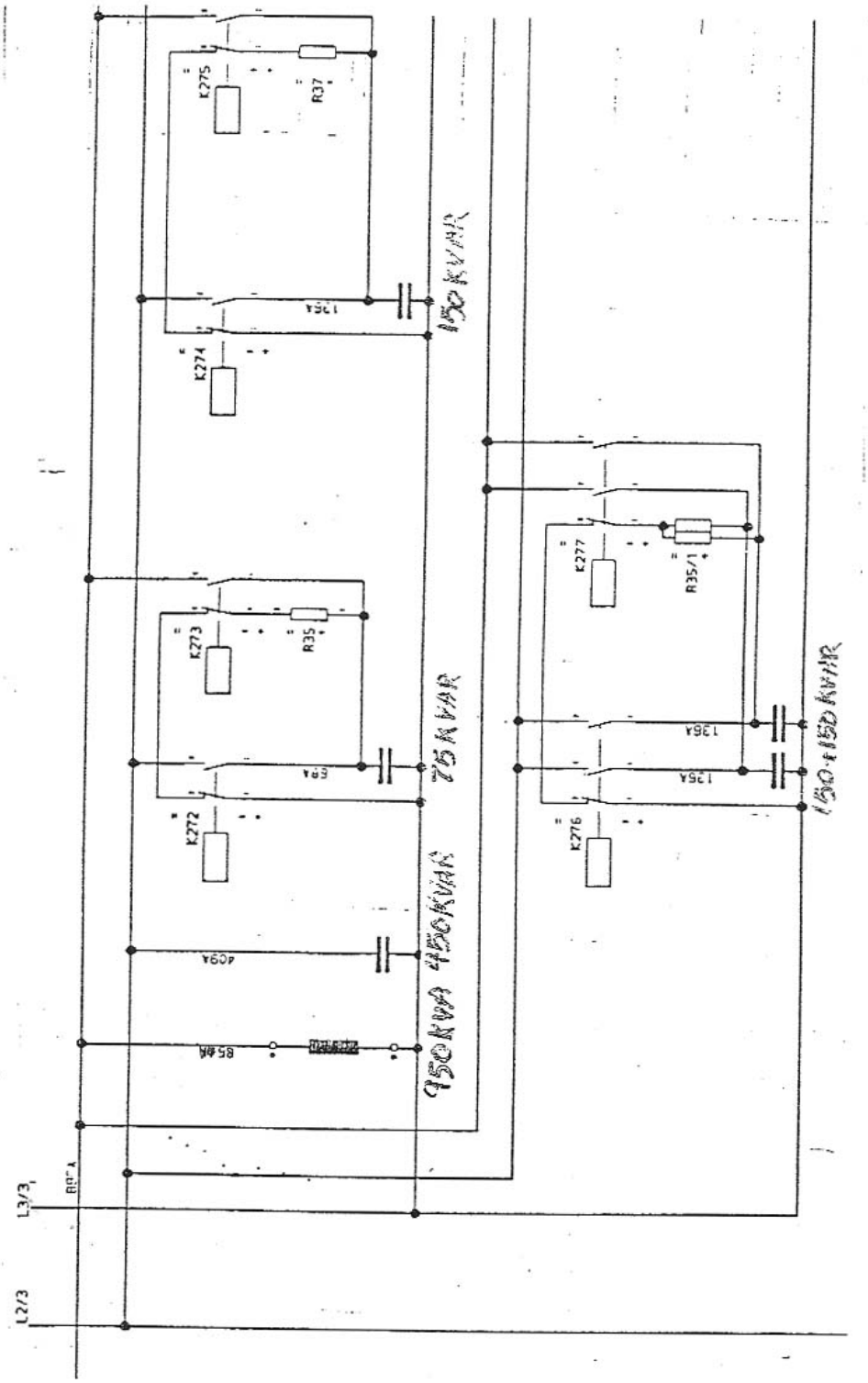




حقیقتی که می بایست همواره درنظرگرفته شود این است که این مدارمتعادل کننده همواره باید با ولتاژ توالی مثبت تغذیه شود درغیراین صورت جریان های خطوط و جریان های شاخه ها دراتصال مثلث هردونامتعادل هستند گرچه توان کل مقدارش تغییر نمی کند وهمان مقدار می ماند وتوان راکتیوی توسط سیستم جذب ویا تولید نمی شود ولی ضریب توان درهیچ کدام ازسه فاز سیستم تغذیه برابرواحد نیست . (شکل ۵-۵)



درشکل (۵-۶) مدارمتعادل کننده همان کوره القائی ۵ تنی را ملاحظه می کنید که مشکل از یک سلف ثابت با قدرت (KVA) ۹۵۰ ویک خازن ثابت با قدرت (KVAR) ۴۵۰ وچهار عدد خازن که درمواقع لازم وارد مدار می شود می باشد . ملاحظه می کنید که سلف مذکور بین دو فاز L_1و L_2وهم بین L_1و L_2 قرارداد و با تغییر آنها می توان ظرفیت مورد نیاز سلف وخازن ثابت را بدست آورد .


K275
R37
K274
K273
R35
K272
K277
R35/1
K276
L3/3
L2/3

فصل ششم

انتخاب مشخصات اصلی کوره های القائی ذوب

۶-۱- مقدمه

دراین فصل به بحث درمورد نحوه انتخاب مشخصات اصلی کوره های القائی ذوب می پردازیم . دربین مشخصات کوره های القائی انتخاب فرکانس مهمترین گزینه برای انتخاب نوع کوره القائی می باشد زیرا خود فرکانس عامل تعیین کننده ای درانتخاب سایر پارامترهای کوره می باشد. درضمن انتخاب خود فرکانس به عوامل متعددی مربوط می باشد که باید با دقت مورد توجه قرارگیرد. انتخاب مناسب وبهینه فرکانس می تواند ازبروز مشکلات بعدی جلوگیری کند .

۶-۲- انتخاب مشخصات ظاهری کوره

مواردی که درابتدای طراحی بایستی مورد نظروتوجه قرارگیرند شامل هندسه سیم پیچی ، نوع ماده نسوز (دیرگذریا آستر) وجنس وشکل ظاهری هدایت کننده ای شارمی باشند. هندسه سیم پیچی براساس ظرفیت کوره (kg) وفرکانس انتخابی تعیین می شود وقطردهانه کوره نیز برهمین اساس طراحی می شود . مواد دیرگداز نیزبراساس ماده ذوب شدنی وفرکانس کار[۱] ازبین مواد موجود (اسیدی – بازی – خنثی) انتخاب می شوند .

۱- فرکانس کارشدت بهم خوردن مذاب ودرنتیجه عمرماده نسوز را تعیین می کند

۶-۳- انتخاب فرکانس مناسب {۴}

درذوب القائی انتخاب فرکانس مناسب مهمترین نکته درامرطراحی کوره برای یک منظـور خاص می باشد. درنگاه اول شاید به نظربرسد که استفاده از فرکانس شـبکه بـا توجـه بـه همیشه دردسترس بودن آن بسیار مقرون به صرفه خواهد بود. با این وجود بررسی دقیـق تر نشان می دهد که دربرخی موارد این انتخاب نمی تواند انتخاب بهینه باشد.

بطورکلی پارامترهائی که درانتخاب فرکانس کوره ها موثر می باشند عبارتند از :

هزینه :

قیمت تجهیزات متناسب با افزایش فرکانس زیاد می شود که البته اخیرا با پیدایش مبدل های فرکانسی با راندمان بالا تفاوت قیمت بین تجهیزات فرکانس شبکه وفرکانس متوسط چندان چشمگیر نیست .

تعداد دورسیم پیچ:

با توجه به رابطه (۶-۱)

رابطه (۶-۱) $E = 4.44 f .\phi .N$

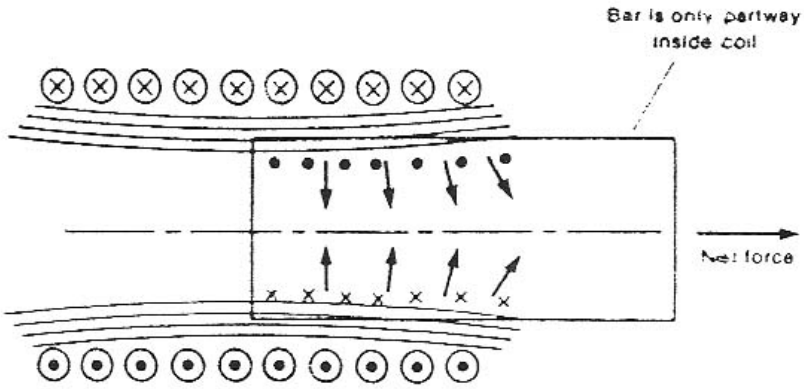
ملاحظه می شود که تعداد دورسیم پـیچ بـا فرکـانس رابطـه معکـوس دارد وایـن بـدان معناست که درفرکانس پائین ازتعداد دوربیشتری برای اتصال قدرت یکسان باید اسـتفاده شود که خود مستلزم استفاده از هادی های با ضخامت کمترودرنتیجـه مجـرای عبـورآب

تنگترخواهد بود که امکان گرفتگی مجرای آب بیشتر می گردد. ازطرف دیگر بالا بودن فرکانس، ولت بردورسیم پیچ را افزایش داده ومی تواند مشکلاتی درعایق بندی آن ایجاد نماید.

- ایجاد نیروی مکانیکی ومساله تلاطم مذاب :

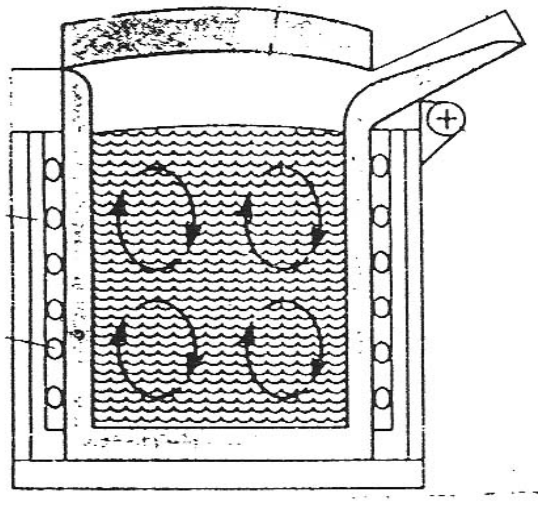
یکی ازپارامترهای دیگر برای دقت درانتخاب فرکانس ، نیروی مکانیکی درقطعه کار می باشد. این نیرو همان نیرویی است که درموتورهای الکتریکی ورله ها ایجاد می شود که براساس نیروی ایجاد شده بروی سیم حامل جریان می توان ان را بیان کرد: این نیرو بصورت جاذبه می باشد هنگامی که جهت جریان ها مخالف هم باشد وبه صورت دافعه می باشد هنگامی که جهت جریان ها مخالف هم باشد وبه صورت دافعه می باشد هنگامی که جریان ها هم جهت باشند درسیم پیچ القائی نیزهادی هم جوار برهم نیرو وارد می کنند وهم چنین چون درقطعه کار نیز جریان برقرار می شود ، نیروئی نیز بین سیم پیچ وقطعه کار ایجاد می شود. این نیروها تمایل دارند که محل باررا درسیم پیچ تغییر دهند. حال اگر بارمرکز سیم پیچ قرارنگرید ونیروها متعادل نباشد باعث خم شدن و انحراف سیم پیچ خواهند شد. اگریک ماده غیرمغناطیسی استوانه ای را درون یک سیم پیچ قراردهیم ، مشاهده می شود که اگراین ماده درمرکز سیم پیچ قرارگیرد نیروهیا وارد بربار بصورت داخلی می باشند وبه صورت عمودبرسطح جانبی ولی نیروهای وارد برلبه ها به صورت کاملا عمودبرسطح نمی باشند اما متقارن هستند بنابراین نیروی خالصی دربار نخواهیم

داشت . حال اگر مانند (شکل ۶-۱) باردرمرکز قرارنگیرد نیروها کاملا بـه صـورت بیـرون زننده می باشند ودرنتیجه این نیرو قطعه رابیرون پرتـاب مـی کنـد بنـابراین درگرمـایش بارهای غیرمغناطیسی ، به دلیل این اثر اغلب به فراهم کـردن مـسائلی بـرای نگهداشـتن باردرسیم پیچ نیاز داریم .



نیروی خالص در یک بار مغناطیسی عکس آنچـه دربارهـای غیـر مغناطیـسی اسـت مـی باشد،دراینجا نیروی جاذبه اضافی بین بار وسیم پیچ وجـود دارد. هنگـامی کـه ایـن نیـرو بزرگتر ازنیروی دافعه شود باربداخل سیم پیچ جذب می شـود. ازاثـر ایـن نیروهـا دریـک سیستم گرمایشی پیشرفته برای سخت کاری میله های فولادی استفاده شده است بـدین ترتیب که میله های فولادی که دارای خاصیت مغناطیسی می باشند ازیک سو ازانتهـا در سیم پیچ جذب می شوند ودرطول حرکت درطول سـیم پـیچ گـرم مـی شـود تـا دمـای بالاترازنقطه کوری ودراین دما که خاصیت مغناطیسی خود را ازدست می دهنـد ، توسـط سیم پیچ دفع می شوند ویک سیستم نقاله را تشکیل می دهند. درفرکـانس هـای پـائین این نیروی ایجاد شده به مراتب قویتراست . دلیل این موضوع این است که عمـق پوسـتی

درفرکانس های پائین تربزرگتراست وبنابراین کانال مقاومتی کمترمی شود ولذا برای تولید همان اثر گرمایی جریان بیشتری القاء می شود ($P=RI^2$) . درفرکانس های بالاتر نیروهای مکانیکی کمتراست بنابراین درفرکانس های پائین ، سیم پیچ نیاز به نگهدارنده های قوی دارد. این نیروهای مکانیکی درکل باعث بهم خوردن مذاب می شود که یکی از مزایای کوره های القائی به شمار می رود زیرا باعث می شود درآخر یک آلیاژ یکنواخت داشته باشیم . البته باید دقت شود که بهم خوردن شدید مذاب عمر آستر کوره را کم می کند ودربعضی موارد نادربرای آلیاژها مضرمی باشد. برای تعیین دقیق آلیاژ بدین صورت عمل می شود که یک نمونه ازذوب گرفته می شود وتوسط دستگاهی به نام « اسپکترومتر» مقدار دقیق عناصر تشکیل دهنده آن تعیین می شود وکمبود هرکدام از آنها را فورا جبران می کنند که به محض اضافه کردن مواد ، به علت تلاطم شدید ، این کمبود درتمام قسمت های ذوب جبران می شود . (شکل ۶-۲).



- مساله راه اندازی :

درکوره های القائی با فرکانس پائین به خاطرکم بودن نسبت حجم قطعه به عمق پوستی راه اندازی کوره مشکل وگاهی غیرممکن خواهد بود که ازاین نظربرای رفع این مشکل حداقل ۱۵ تا ۲۰ درصد کل ظرفیت کوره باید قبلا ذوب گردیده باشد. اما درفرکانس بالاتردیگر مساله راه اندازی مطرح نخواهد بود.

- راندمان :

راه اندازی ضعیف درفرکانس پائین راندمان ذوب را پائین می آورد . درمقابل ، راندمان مبدل فرکانس وهمچنین تلفات بیشتر درخازن ها وتلفات اضافی درسیم پیچ به همراه افت ولتاژ بیشتر درشین های ولتاژ درکوره های فرکانس متوسط قابل توجه می باشد.

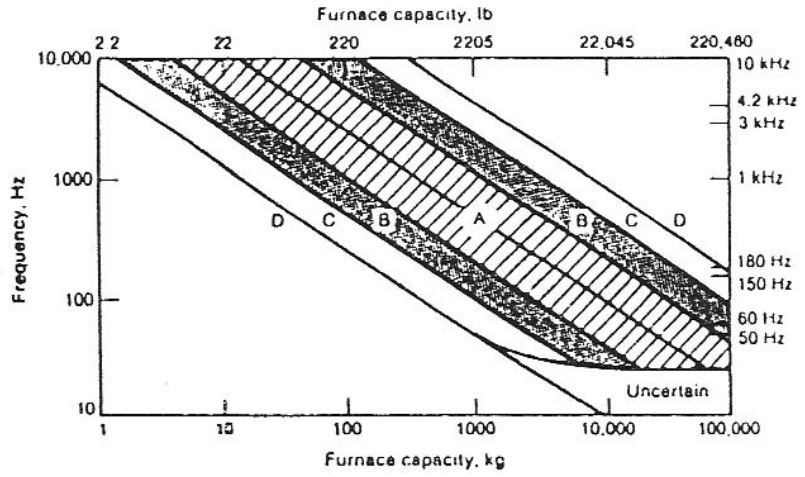
- نسبت توان به وزن تولید:

به علت وجود مساله تلاطم درمذاب درکوره ها فرکانس پائین ، نسبت توان مصرفی به وزن تولید مذاب باید مقدار کمی درنظرگرفته شود. مثلا یک کوره ۶ تنی فرکانس شبکه با قدرت ۱۵۰۰kw دارای خروجی درحدود ۲/۵t/h می باشد.حال اگربخواهیم نرخ تولید را به ۵ t/h برسانیم بایستی قدرت به ۳۰۰۰kw برسد ولی به علت همان تلاطم شدید ظرفیت کوره را باید ۱۵ton درنظرگرفت . درکوره های با فرکانس بالاترنسبت توان به

وزن تولیدی بالاتر می رود بطوریکه برای تولید ۲/۵ تن مذاب درفرکانس ۱۵۰ هرتـز تنهـا به یک کوره ۳ تنی نیاز خواهیم داشت .

به طورکلی انتخاب فرکانس مناسب نیاز به یک بررسی مهندس دقیق ومیزان کـردن هـر کدام ازمزایا ومحاسن هرفرکانس برای هرانتخاب می باشد.

فرکانس های استاندارد دردسترس ۵۰/۶۰ هرتـز ، ۱، ۳، ۴،و۱۰ کیلـو هرتـز مـی باشـند. فرکانس های سه برابر شبکه درقیـاس بـا دیگرفرکـانس هـا متوسـط ازجـذابیت چنـدانی برخوردارنیست . چرا که باید مساله هارمونی ها درمنابع تغذیه کوره به دقت مـورد توجـه قرارگیرند. منحنی تقریبی که می تواند درانتخاب فرکانس کوره ها مفید واقع گردد درزیر آمده است :



شکل (۶-۳) انتخاب فرکانس با توجه به ظرفیت کوره

A: حوزه پیشنهادی

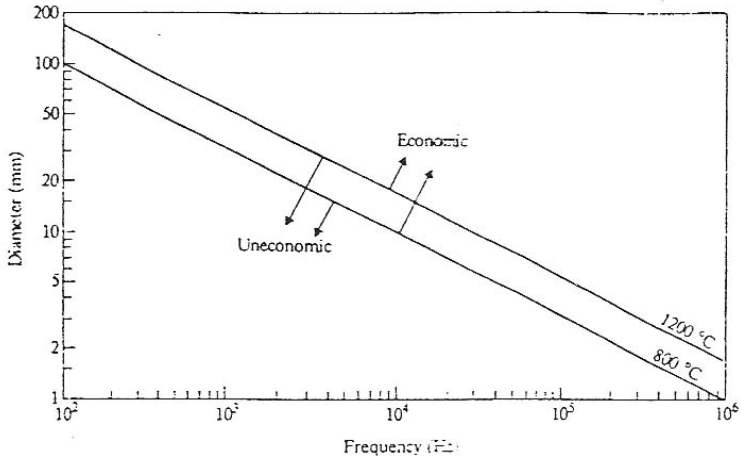
B: استفاده با احتیاط

C: فرکانسی که استفاده شده است ولی پیشنهاد نمی شود .

D: اکیدا استفاده نگردد

- اندازه مواد ذوب شدنی :

کوره های فرکانس پائین برای ذوب قراضه های صنعتی کوچک مناسب نیستند . اگر مجبور به استفاده از این نوع قراضه – شیم کوره های فرکانس متوسط توصیه می شود با توجه به شکل (۶-۴) وجدول (۶-۱) می توان با توجه به قطرقطعه ذوب شدنی فرکانس مناسب را انتخاب کرد.



فرکانس پیشنهادی	قطر قطعه ذوب شدنی
۱۰KHz	۳۸mmتا۹mm
۶KHz	۵۱ mm تا ۱۴mm
۳KHz	۶۴ mmتا۱۹ mm
۱KHz	۱۰۲ mm تا ۴۴ mm
۵۰۰Hz	۱۱۴mmتا۷۶ mm
۲۰۰ Hz	۱۵۲ mm تا ۹۵ mm
۶۰ Hz	۱۲۷ mm و بیشتر

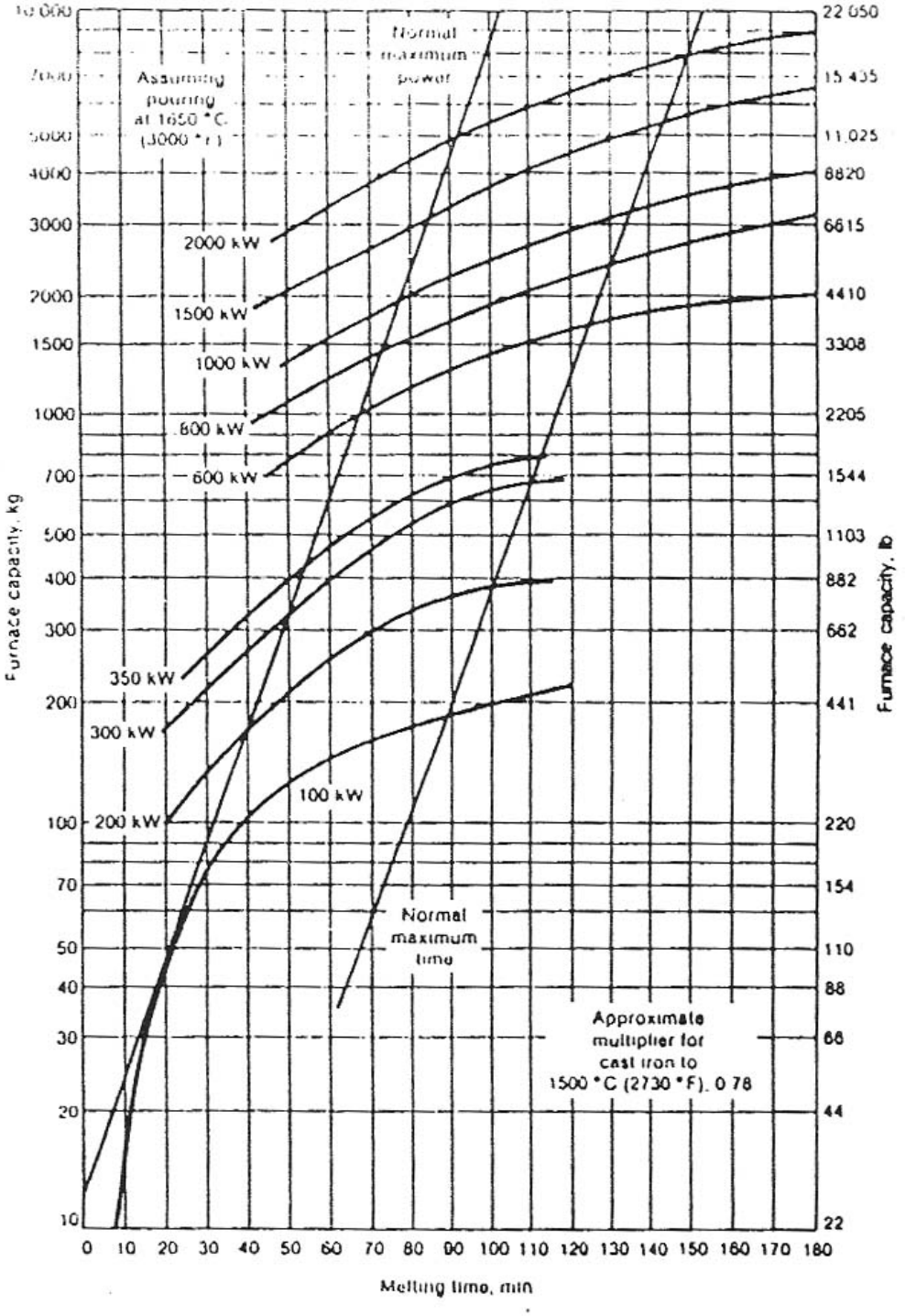
۶-۴- انتخاب توان مورد نیاز

عاملی که درتعیین توان مورد نیاز کوره القائی ذوب مهمترین نقش را دارد نرخ تولید کوره (ton/hour) می باشد. برای تعیین توان کوره می توان ازشکل (۶-۴) استفاده کرد .این شکل رابطه بین ظرفیت کوره های مختلف، زمان ذوب وتوان مورد نیاز برای کوره را به منظور ذوب فولاد ویا چدن را نشان می دهدو همان طور که مشاهده می شود برای اکثر قسمت ها دوبرابر کردن خروجی (ton/h) مستلزم دوبرابر کردن توان کوره است .

۶-۵- انتخاب ظرفیت کوره

بطورطبیعی ظرفیت کوره وابسته به نوع ومیزان تولید می باشد ولی عامل فرکانس نیز برروی ظرفیت کوره تاثیر می گذارد بدین ترتیب که درفرکانس های پائین که عمل به هم خوردن شدید است همان طورکه گفته شد نسبت توان کوره به ظرفیت کوره باید پائین باشد .

امروزه اکثر تولید کنندگان بزرگ کوره های القائی محصولات متنوعی ازنظرفرکانس، ظرفیت ،نرخ تولید وتوان مورد نیاز تولید می کنند که مصرف کنندگان این نوع کوره ها دقیقا می توان متناسب بانیاز خود یکی ازاین نوع کوره ها را انتخاب کنند. برای نمونه درجداول (۶-۲- الف تا د) مشخصات فنی انواع کوره های القائی ذوب تولید یکی ازسازندگان معتبر کوره القائی می آید که برای ذوب چدن ، فولاد ، مس و آلومینیوم مورد استفاده قرارمی گیرد{۱۰}.


Normal maximum power
Assuming pouring at 1650 °C (3000 °F)
2000 kW
1500 kW
1000 kW
800 kW
600 kW
350 kW
300 kW
200 kW
100 kW
Normal maximum time
Approximate multiplier for cast iron to 1500 °C (2730 °F), 0 78
Furnace capacity, kg
Furnace capacity, lb
Melting time, min
22 050
15 435
11 025
8820
6615
4410
3308
2205
1544
1103
882
662
441
220
154
110
88
66
44
22
10000
7000
5000
4000
3000
2000
1500
1000
700
500
400
300
200
100
70
50
40
30
20
10
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180

ظرفیت کوره (kg)	توان ظاهری کوره (kvA)	توان نامی کوره (kW)	نرخ بارگیری کوره برای رسیدن به دمای 1450°C (kg/h)	مصرف کوره برای رسیدن به دمای 1450°C (kWht)
750	330	300	490	610
1000	390	350	590	590
1500	500	450	760	590
2000	660	600	1050	570
3000	830	750	1300	570
4000	1100	1000	1800	550
5000	1370	1250	2250	550
6000	1800	1600	2900	550
8000	2350	2100	3800	550
10000	2900	2600	4700	550
12000	3300	3000	5550	540
16000	4650	4200	7750	540
20000	5500	5000	9250	540
24000	6600	6000	11100	540
30000	9000	8200	15100	540
40000	11000	10000	18800	530

ظرفیت کوره (kg)	توان ظاهری کوره (kvA)	توان نامی کوره (kW)	نرخ بارگیری کوره برای رسیدن به دمای 1600°c (kg h)	مصرف کوره برای رسیدن به دمای 1600°c (kWht)
750	330	250	330	740
1000	390	300	410	720
1500	500	400	560	710
2000	660	550	800	680
3000	830	650	970	670
4000	1100	900	1350	660
5000	1370	1100	1650	660
6000	1800	1400	2150	650
8000	2350	1900	2950	640
10000	2900	2300	3650	630
12000	3300	2700	2450	630
16000	4650	3600	5700	630
20000	5500	4300	6900	620
24000	6600	5200	8350	620
30000	9000	7200	1100	620
40000	11000	8900	14600	610

ظرفیت کوره (kg)	توان ظاهری کوره (KVA)	توان نامی کوره (kW)		نرخ بارگیری کوره (kg/h)		مصرف کوره (kWh/t)	
		برنج یا مس 60% تا دمای 1000°c	100%Cu تا دمای 1200°c	برنج یا مس 60% تا دمای 1000°c	100%Cu تا دمای 1200°c	برنج یا مس 60% تا دمای 1000°c	100%Cu تا دمای 1200°c
600	180	165	150	510	320	320	460
900	240	220	200	730	460	300	430
1200	300	275	250	650	610	290	410
1800	450	400	350	1420	900	280	390
2400	575	520	450	1850	1150	280	390
3600	850	770	700	2750	1800	280	380
5000	1250	1120	1000	4000	2650	280	380
6000	1400	1250	1100	4450	2900	280	380
7500	1650	1500	1350	5350	3550	280	380
10000	2100	1900	1700	6800	4450	280	380

ظرفیت کوره (kg)	توان ظاهری کوره (kvA)	توان نامی کوره (kW)	نرخ بارگیری کوره برای رسیدن به دمای 700°c (kg/h)	مصرف کوره برای رسیدن به دمای 700°c (kWht)
800	300	240	420	570
1000	365	290	530	560
1500	540	430	800	540
1650	690	550	1050	520
2300	850	680	1300	520
2800	1000	800	1520	525
3500	1120	900	1740	515
4500	1250	1000	1950	515
5500	1800	1200	2330	515
7500	2250	1800	3500	515
10000	2880	2300	4500	510
12000	3320	2650	5200	510
15000	3750	3000	5900	510

فصل هفتم

نتیجه گیری وپیشنهاد

امروزه تقریبا کوره های با سوخت فسیلی ابزاری منسوخ شده به حساب می آیند وبا توجه به مزایای فراوان کوره های القائی صنایعی مانند صنعت ذوب ، سخت کاری ، جوشکاری ، فورجینگ وسایرکاربردها ، استفاده ازاین کوره ها به عنوان جز ء لاینفک صنعت محسوب می شود.

درمورد استفاده وانتخاب نوع ومشخصات فنی این کوره ها برای اهداف خاص می بایستی دقت فراوان صورت پذیرد. درعمل دقیقا فراوان صورت پذیرد . درعمل دقیقا می بایست مشخص شود چه نوع آلیاژی قراراست ذوب شود واستراتژی کارخانه برروی چه ظرفیت وزنی می باشد وهم چنین توسعه های آینده درنظرگرفته شود. سپس با توجه به مطالبی که درمورد انتخاب مشخصات کوره های القائی اعم ازفرکانس ، قدرت مورد نیاز و ... بیان شد کلیه پارامترهای کوره را تعیین کرد. پس از آن می بایست لوازم جانبی ومورد نیاز کوره ها را لحاظ کرد که شامل نوع و ظرفیت سیستم خنک کننده ، تعیین نوع وجنس آستر نسوزکوره ، وسیله ایمنی اتصال زمین ،انواع رله ها ووسائل حفاظتی ،نوع وقدرت سیستم تخلیه مذاب ، ترانسورماتور ، سلف و خازن های مورد نیاز می باشد. درمورد نوع کوره القائی ذوب نیاز ازبین کوره های کانالی وبدون هسته باید یکی ازبا توجه به مشخصات وکاربردها هریک از آنها که درفصل دوم ذکرشد ، انتخاب کرد. اگردرکارخانه خط تولید اتوماتیک وپیوسته موجود باشد باید از کوره های خود ریز کانالی استفاده کرد.

منابع و مراجع

[۱] مطلبی ، ع . الکترونیک قدرت وکوره های القائی، چاپ دوم ، مرکز نشر دانشگاهی

[۲] میلر ، تی جی . ای . کنترل توان راکتیو درسیستم های الکتریکی ، چاپ اول ، جهاد دانشگاهی مشهد ، ۱۳۷۱

[۳] مرکز نوآوری صنعتی ، کوره القائی ، چاپ دوم ، جهاد دانشگاهی دانشگاه اصفهان ، ۱۳۶۳

[4] Davies ,s and et-aI. Eiements of Induction Heating ,book .Mc Graw-HiII. 1979.

[5] Zinn s, and aI Eiements of Indution Heating ,EPRI and ASM, 3rd ED,1991

[6] Semiation S.L and D.E Indution Heat Treatment of steeI .ASM.1986.

[7] Inductotherm Website:www.inductotherm.com

[8] IEC Standard IEC 594-77

[9] American Induction Heatig corp Webstie:www.americanindution.com

[10] Junker,s CaaIoges